



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

“Reducción de los niveles de ^{222}Rn en viviendas de la Parroquia

“Victoria del Portete”, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay”.

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

**AUTORES: CÉSAR AUGUSTO ARTEAGA CEP
CARLOS ARTURO LLIGUIN VALLEJO**

TUTOR: BOLÍVAR EDMUNDO FLORES HUMANANTE

Riobamba – Ecuador
2018

©2018, César Augusto Arteaga Cepa y Carlos Arturo Lliguin Vallejo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

EL Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo tipo Investigativo “REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE ^{222}Rn EN VIVIENDAS DE LA PARROQUIA “VICTORIA DEL PORTETE”, CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY”, de responsabilidad de los señores CÉSAR AUGUSTO ARTEAGA CEPA y CARLOS ARTURO LLIGUIN VALLEJO, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Doctor – Bolívar Edmundo Flores
Humanante
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Doctor – Julio César Idrovo Novillo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Nosotros, CÉSAR AUGUSTO ARTEAGA CEPA Y CARLOS ARTURO LLIGUIN VALLEJO somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CÉSAR AUGUSTO ARTEAGA CEPA

CARLOS ARTURO LLIGUIN VALLEJO

DEDICATORIA

Este presente proyecto está dedicado primeramente a Dios, que es nuestro guía en este recorrido estudiantil y en la vida profesional.

A nuestros padres y familiares que con su esfuerzo nos han ayudado a superar todas las dificultades que se nos han presentado.

A nuestros maestros y todas las personas que nos han apoyado y han hecho que este proyecto sea posible y se lo realice de la mejor manera.

César Arteaga

Carlos Lliguin

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a Dios quien nos dio la paciencia y fuerza necesaria para cumplir esta meta que nos hemos planteado años atrás y ahora es posible gracias a la sabiduría compartida de nuestros docentes y personas que se encuentran a nuestro alrededor.

Al personal de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser personas que han estado en todo momento con nosotros, apoyándonos de diferentes maneras para que podamos realizar este proyecto, en es especial al Dr. Bolívar Flores y Dr. Julio Idrovo quienes fueron colaboradores de este trabajo de investigación.

A nuestras familias y sobre todos a nuestros padres que nos apoyaron en todo momento sin importar las dificultades que nos acontecían, por estar siempre junto a nosotros y con sus palabras nos fortalecían para seguir adelante.

A la Ingeniera Dolores Flores quien nos ayudó y apoyo en este trabajo, a las personas de la Parroquia “Victoria del Portete que abrieron sus viviendas para poder realizar el trabajo de campo necesario en este proyecto.

César Arteaga

Carlos Lliguin

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTADO DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.	xv
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	3
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
OBJETIVOS.....	6
HIPÓTESIS Y VARIABLES	7
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
1.1. Generalidades	8
1.2. Radiactividad.....	9
1.3. Cadenas de decaimiento	10
1.4. Distribución en el entorno	12
1.5. Radón en ambientes interiores.....	16
1.6. Determinación del nivel de radón en el aire	17
1.6.1. Cámaras de aire de muros	18
1.6.2. Soleras en sótanos.....	18
1.7. Riesgo radiobiológico	19
1.8. Guías y valores de referencia	21
1.9. Características de viviendas resistentes al gas radón.....	22
1.9.1. Grava	23
1.9.2. Lámina de plástico o retardador de vapor	23
1.9.3. Una tubería de ventilación	23
1.9.4. Sellado y calafateo	23
1.9.5. Caja de conexiones	23
1.9.6. Materiales de construcción.....	24
1.9.7. Transporte	25

1.9.8.	<i>Difusión</i>	26
1.9.9.	<i>Suelo</i>	26
1.9.10.	<i>Difusión</i>	27
1.10.	Métodos de medida	27
1.10.1.	<i>Métodos activos</i>	27
1.10.2.	<i>Métodos pasivos</i>	29
1.10.3.	<i>Dosimetría personal</i>	31
1.10.4.	<i>Dosímetros electrónicos</i>	32
1.11.	Defensas contra el gas radón	35
1.11.1.	<i>Agua</i>	36
1.11.2.	<i>Materiales de construcción</i>	36
1.11.3.	<i>Suelo</i>	37
1.12.	Eliminación de las fuentes	37
1.12.1.	<i>Sellamiento</i>	38
1.12.2.	<i>Revestimiento de paredes</i>	38
1.12.3.	<i>Tapizado de paredes</i>	38
1.12.4.	<i>Ventilación</i>	39
1.13.	Eliminación del radón y de sus descendientes del aire interior.	41
1.13.1.	<i>Filtración</i>	41
1.13.2.	<i>Mezcla mecánica</i>	41
1.13.3.	<i>Método del campo electrónico</i>	41
CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	43
2.1.	Delimitación del universo de investigación.	43
2.2.	Diseño del experimento	44
2.3.	Mediciones	44
2.4.	Requisitos para las unidades experimentales.	46
2.5.	Esquema del experimento	46
2.6.	Materiales y Equipos	47
2.6.1.	<i>Medidor de radón Corentium Home</i>	47
2.6.2.	<i>Papel Tapiz vinílico</i>	47
2.6.3.	<i>Yeso</i>	47
2.7.	Métodos y Técnicas	47
2.7.1.	<i>Métodos</i>	47
2.8.	Técnicas de investigación	48
2.8.1.	<i>Observación directa de campo</i>	48
2.8.2.	<i>Técnicas de reducción de radón</i>	48

2.8.3.	<i>Utilización del medidor de radón Corentium Home</i>	48
2.8.4.	<i>Trabajo de campo</i>	49

CAPITULO III

3.	MARCO, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	50
3.1.	Discusión y Análisis de resultados.	50
3.1.1.	<i>Dosis anual absorbida</i>	56
3.2.	Conclusiones	57
3.3.	Recomendaciones	58

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características del papel tapiz.	39
Tabla 1-2: Tipos de viviendas en que se realizó la mediación y técnicas de remediación que se ejecutó.....	44
Tabla 2-2: Ficha para la recolección de datos de tres habitaciones de las diferentes viviendas.	45
Tabla 3-2: Viviendas que se realizó el tratamiento de remediación.	45
Tabla 1-3: Ficha de datos de las tres repeticiones de las diferentes viviendas de la Parroquia “Victoria del Portete” que se realizó la medición de radón.	50
Tabla 2-3: Concentración de radón en viviendas de diferentes materiales de construcción.	51
Tabla 3-3: Disminución de las concentraciones más altas de radón de cada tipo de vivienda.	52
Tabla 4-3: Disminución de la concentración de radón con respecto a las variables independientes.	53
Tabla 5-3: Porcentaje de disminución de la concentración de radón.....	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Cadena de decaimiento del ^{238}U	12
Gráfico 2-1: Fuentes de exposición de origen natural y artificial, dosis de radiación promedio recibida en un año por una persona cualquiera de la población de España.	20
Gráfico 3-1: Curva termoluminiscente. Intensidad vs. Temperatura.	34
Gráfico 1-2: Esquema de la realización del proyecto.	46
Gráfico 1-3: Porcentaje de disminución de radón según el tipo de material de construcción de viviendas.	54
Gráfico 2-3: Porcentaje de disminución de radón según las técnicas de remediación de viviendas.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Resultados de un campo de medidas sobre la difusión del radón en España.....	13
Figura 2-1:	Viviendas en Salamanca presentan niveles de radón de 1000 Bq/m ³	15
Figura 3-1:	Vías comunes de entrada de radón. Puntos débiles.....	18
Figura 4-1:	Tamaños de las partículas del suelo, que se asemejan a la magnitud inferior de los materiales de construcción.	22
Figura 5-1:	Características de una vivienda para reducir radón.....	24
Figura 6-1:	Esquema de la cámara de ionización para medición del radón.....	28
Figura 7-1:	Esquema de celdas de centelleo o de Lucas para medición del radón.	29
Figura 8-1:	Montaje del canister para medición del radón.	30
Figura 9-1:	Medidor de radón Corentium Home.	28
Figura 10-1:	Dosímetro de tipo lapicero.....	31
Figura 11-1:	Carga y ajuste a cero del dosímetro al colocarlo sobre el socket de carga.	32
Figura 12-1:	“trampa o pozo” de un cristal del dosímetro de termoluminiscencia. Fenómeno general.....	33
Figura 13-1:	Partes de un dosímetro de películas.	35
Figura 14-1:	Vivienda ventilada o aireada.....	39
Figura 15-1:	Sistema de tubos que permiten reducir la presión diferencial del radón, capturándolo antes que entre en las habitaciones.....	41

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A. Fotografías

RESUMEN

El propósito de este estudio fue reducir los niveles de radón en viviendas de la Parroquia “Victoria del Portete”, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay, empleando dos técnicas de remediación (aireación y tapizado). Con ayuda de los equipos Corentium Home, se realizaron 30 mediciones en viviendas de diferente tipo material de construcción, adobe, madera, bloque, ladrillo y mixtas. Se llevó a cabo una correcta capacitación a los residentes del lugar para acceder fácilmente a sus dormitorios donde se acumula este gas, y las personas pasan un porcentaje considerable en estos. Las viviendas en estudio, eran de uno o dos pisos y contenían puertas y ventanas en sus dormitorios. La primera medición se ejecutó por triplicado en cada vivienda, se tomaron los valores más altos y se aplicaron las técnicas de remediación, previamente sellando fisuras o grietas de paredes y pisos con yeso para que estos métodos sean efectivos. La segunda medición ayudó a verificar la reducción de las concentraciones iniciales de radón por debajo de los límites que permite la Agencia de Protección Ambiental (EPA) que es de 150 Bq/m³. El promedio de la concentración inicial de radón fue de 578.22 Bq/m³, valor que sobrepasan los límites permisibles. Posterior a la remediación, se determinó que la dosis anual absorbida por los habitantes de la Parroquia es de 1.14 mSv/γ, valor por debajo de los límites permisibles (1.2 mSv/γ) recomendado por la EPA. Las técnicas de remediación aplicadas disminuyeron estos niveles un 83.85% por el método de aireación y un 85.30% por el método de tapizado. Se recomienda a las personas del sector que incluyan la aireación y tapizado en su vida diaria para disminuir estos niveles altos de radón en sus viviendas.

Palabras clave: <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <QUÍMICA>, <RADÓN (Rn)>, <AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (EPA)>, <REDUCCIÓN (CONCENTRACIÓN)>, <REMEDIACIÓN>, <CUENCA (CANTÓN)>.

SUMMARY

The purpose of this study was to reduce radon levels in homes of the Parish "Victoria del Portete", Cuenca Canton, Azuay Province, using two remediation techniques (aeration and upholstery). With the help of Corentium Home equipment, 30 measurements were made in dwellings of different construction material type, adobe, wood, block, brick and mixed. A proper training was carried out to the residents of the place to easily access their bedrooms where this gas accumulates, and people spend a considerable percentage in these places. The houses in the study, were of one or two stories, and contained: doors and windows in their bedrooms. The first measurement was executed in triplicate in each dwelling, the highest values were taken and the remediation techniques were applied, previously sealing fissures or cracks in walls and floors with plaster so that these methods are effective. The second measurement helped verify the reduction of initial radon concentrations below the limits allowed by the Environmental Protection Agency (EPA) which is 150 Bq/m³. The average of the initial concentration of radon was 578.22 Bq /m³, a value that exceeds the permissible limits. After the remediation, it was determined that the annual dose absorbed by the inhabitants of the Parish is 1.14 mSv/y, value below the permissible limits (1.2 mSv/y) recommended by the EPA. The applied remediation techniques decreased these levels 83.85% by the aeration method and by 85.30% by the upholstery method. It is recommended that people in the sector include aeration and upholstery in their daily lives to reduce these high levels of radon in their homes.

Keywords: <EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <CHEMISTRY>, <RADON (Rn)>, <ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA)>, <REDUCTION (CONCENTRATION) >, <REMEDIATION>, <CUENCA (CANTON)>.

INTRODUCCIÓN

SEÑAS HISTÓRICAS

En la tabla periódica, el grupo llamado los gases inertes o nobles, se halla situado entre los halógenos y metales alcalinos. Los elementos de estos dos grupos son químicamente muy activos; los gases inertes, en cambio muestran una actividad química sorprendentemente pequeña. (Garzón. 1992, pp. 17-18)

El radón es una sustancia que comparte con sus congéneres la propiedad de ser inerte, diferenciándose de ellos en que es radiactivo, lo que significa que en sus átomos no mantienen su identidad a lo largo del tiempo, sino que se autodestruyen, transformándose en otros átomos diferentes, al tiempo que emiten partículas subatómicas. (Garzón. 1992, pp. 17-18)

Este hecho confiere al radón una serie de características esenciales, cuyo conocimiento es imprescindible para estudiar su comportamiento. Precisamente, si no fuera por su radiactividad, hubiera pasado inadvertido durante mucho tiempo. (Garzón. 1992, pp. 17-18)

Ya en el siglo XVI Paracelso ilustre alquimista, pionero de la medicina y la química notó la alta mortalidad debida a enfermedades pulmonares entre los mineros de las minas de plata en la región de Schneeberg, en Savoia. La incidencia de la “enfermedad de Schneeberg” aumentó en los siglos XVII y XVIII, cuando la actividad de las minas de plata, cobre, cobalto se intensificó. (Garzón. 1992, pp. 17-18)

Esta enfermedad fue reconocida como cáncer a los pulmones en el año 1879. En el año 1895 Henri Becquerel descubrió que las sales de uranio impresionaron las películas fotográficas, a causa de aquellos que sucesivamente Ernest Rutherford identificará como rayos α , emitidos por subproductos de decaimiento. (Garzón. 1992, pp. 17-18)

Tres años después la pareja Pierre y Marie Curie aislaron de minerales uraníferos dos nuevos elementos, radio y polonio, que presentaron un fenómeno análogo que llamaron radiactividad. En el año de 1900 Dorn descubrió que las sales de radio originaron un gas radiactivo que llamó Radón. (Garzón. 1992, pp. 17-18)

En los años siguientes fueron cumplidas medidas sobre la concentración de radón en la mina de Schneeberg, allí se formula una relación de causa-efecto entre el radón y cáncer al pulmón. Esta medida sistemática inició en los años cincuenta. (Garzón. 1992, pp. 17-18)

Durante mucho tiempo existió la opinión de que la radiación natural no tenía un efecto significativo desde el punto de vista de daños para la salud del público en general, pero esta idea cambió totalmente cuando en los años 70 y 80 se evidenció que en el interior de algunas casas y en distintos países el nivel de radón existente significaba concentraciones de varias decenas e incluso miles de Bq/m³, lo que indicaba que las dosis recibidas por sus ocupantes eran de algunas decenas de mSv al año. (Berenguer. 1999, p.3)

El principal causante de esta situación es el radón, que es el único elemento gaseoso de las cadenas de desintegración radiactivas, por lo que se desplaza con facilidad a partir del punto en que se genera y entra en los edificios. (Berenguer. 1999, p.3)

PROBLEMÁTICAS ACTUALES

El Consejo de Seguridad Nuclear del año 2011, marcó un límite en la normativa que constituye criterios definidos para la exposición frente a la radiación natural. Estos documentos establecen criterios sobre radiología y para la protección de los obreros en lugares de trabajo frente a la radiación natural. (Gutiérrez et al., 2016: p.7)

Los documentos fijan niveles de radón, que en el caso de ser superados, se darán soluciones como recurrir a acciones correctivas o dispositivos de vigilancia. En el año 2013 el Consejo Europeo publicó las denominadas EU BSS (European Union Basic Safety Standards) sobre la protección frente a los peligros derivados de la exposición a radiación ionizante. Lo que se trata en estos documentos es el bienestar de las personas, cuando se encuentran expuestas a este peligro. (Gutiérrez et al., 2016: p.7)

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza para reducir los niveles de ²²²Rn en un muestra de viviendas de la Parroquia “Victoria del Portete”, cantón Cuenca, provincia de Azuay, ya que en investigaciones anteriores se registraron altos niveles de radón en este lugar, además que en el 2008 el Ministerio de Electricidad y Recursos Renovables hizo un estudio donde concluyó que en Cuenca hay reservas consideradas "con favorabilidad uranífera". (Ramos. 2008, p.102)

Para la reducción del ²²²Rn se emplearan 2 técnicas de remediación que son el tapizado y la aireación, se emplean estas dos técnica ya que según un estudio realizado por parte de la ESPOCH la primera técnica reduce en un 89.61% y la segunda un 84.02% es por tal motivos que se va escoger estas técnicas (Ramos. 2008, p.102)

La investigación planteada tiene relevancia social, pretende realizar un control radiológico del aire en las residencias de la parroquia “Victoria del Portete”

Otro motivo por el cual se guía esta investigación es que el ser humano por lo general pasa entre el 80 y 90 % del tiempo en lugares cerrados y de poco espacio y aumenta la contaminación en el interior de estos lugares por la falta de aireación y pudiendo ocasionar efectos significativos sobre la salud.

La recolección de la muestra se va realizar según como recomienda la agencia EPA, que manifiesta que los lugares donde se ejecute la medición es donde las personas se encuentren la mayor parte del tiempo, que no sobre pase los 3 pisos de la edificación y que no haya corrientes de aire.

La aireación y el tapizado son técnicas recomendadas por la EPA, la primera que implica abrir ventanas en las edificaciones, usar ventiladores, abrir puertas, la segunda que es usar un tapiz que es un plástico que le prohíbe el paso al gas Radón de las paredes.

La investigación es viable ya que los lugares de acceso a la toma de muestras son posibles y se cuenta con el permiso de los propietarios en la Parroquia “Victoria del Portete”. Se cuenta con 2 equipos “Corentium Home” que proporciona una lectura fiable del nivel de radón en las viviendas en Bq/m³ los mismos que serán adquiridos en Alemania.

Los datos obtenidos del estudio darán información valiosa para elegir la mejor técnica para reducir los niveles del gas Radón en las viviendas monitoreadas y de cierta manera prevenir en cáncer de pulmón que es el principal efecto que ocasiona la radicación producida por este gas noble.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación de María Ramos del año 2008, buscó reducir los niveles de Radón en dormitorios máster de construcción de cemento armado realizando tratamientos de aireación, pintura, y tapizado del interior de 12 habitaciones del Barrio La macarena de la ciudad de Ambato. Para determinar los niveles de radón se utilizó la técnica de Detectores de Trazas Nucleares en Estado Sólido (SSNTD), aplicando dosímetros pasivos de partículas alfa que utilizan detectores de Nitrato de Celulosa (LR-115) de la Kodak – Pathé.

Los resultados obtenidos fueron de 84.02% en el tratamiento de aireación, 84.21% en el pintado y 89.61% en el tapizado siendo la diferencia poco significativa entre los dos primeros tratamientos.

Los tratamientos de aireación, pintura y tapizado en el interior de los dormitorios redujeron los niveles de radón en viviendas de cemento armado del Barrio La macarena entrando en el rango de valores establecidos por la EPA y UNSCEAR que son de 150 Bq/m³ y 200 Bq/m³ respetivamente.

En la investigación de Edgar Cárdenas del año 2010, tuvo como objetivo reducir los niveles de Radón en 12 dormitorios de construcciones de cemento armado, ubicadas en la Parroquia “Portete de Tarqui”, en la provincia del Azuay, aleatoriamente, previo sellado de grietas, tratamientos de aireación durante mínimo 8 horas seguidas, pintado de interiores con esmalte, y recubrimiento de interior con papel tapiz vinílico. Para medir los niveles de Radón, se utilizaron Detectores de Trazas Nucleares en Estado Sólido (SSNTD), aplicando dosímetros pasivos de partículas alfa que utilizan detectores de Nitrato de Celulosa (LR-115) de la Kodak - Pathé. Se utilizaron los métodos científico analítico, y para el análisis de datos obtenidos, los test ANOVA (análisis de varianzas), T-student y Tukey al 5%. Después de haber aplicado los métodos de reducción, se muestra un descenso de 66% con el tratamiento de aireación, 63% con el pintado, y 61% con el tapizado. Pese a la mínima diferencia entre estos resultados, se demuestra que el aireado tiene resultados altamente significativos con relación a los no tratados. Aunque se logró reducir significativamente la concentración de radón en el interior de las habitaciones, no se alcanzó hacerlo hasta los rangos de valores establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), que van de 150 y 200 Bq/m³ respectivamente.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según la OMS el radón es un gas radiactivo de origen natural, que tiende a concentrarse en interiores, como en viviendas y lugares de trabajo. El radón emana fácilmente del suelo y pasa al aire, donde se desintegra y emite partículas radiactivas. Al respirar e inhalar esas partículas, estas se depositan en las células que recubren las vías respiratorias, donde pueden dañar el ADN y provocar cáncer de pulmón. (OMS, 2016)

El radón y su progenie son las más importantes fuentes de radiación ionizante que se encuentra en nuestro ambiente, ocupando aproximadamente el 50% de las fuentes naturales de radiactividad que son responsables de causar efectos adversos en vías respiratorias. (OMS, 2016)

En el Ecuador el Ministerio de Electricidad y Recursos Renovables se realizó un estudio donde las reservas consideradas "con favorabilidad uranífera" estarían ubicadas en las estribaciones de

la cordillera oriental de los Andes, en las provincias de Loja, Azuay, Napo, Pastaza y Zamora Chinchipe.

Estudios preliminares realizados por la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEAA) en 1992, dieron a conocer la presencia de Radón en nuestro país han determinado que la elevada concentración existente en Cuenca y más específicamente en la Parroquia “Victoria del Portete”, se debe a la presencia de una veta de Uranio.

El problema se origina cuando existen altas concentraciones de radón dentro de una habitación ya que, las partículas inhaladas por las personas que ocupan la habitación, emiten radiación alfa a las células epiteliales bronquiales de los pulmones, aumentando la probabilidad de inducir cáncer de pulmón.

En estudios efectuados por parte de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en 1992 se realizaron cuantificaciones de Radón en habitaciones en las provincias de Chimborazo, Tungurahua, Carchi y Azuay y siendo estas 2 ultimas valores relativamente altos. (Torres, 1992)

En otro estudio más reciente efectuado en la ESPOCH en 2006 se cuantifica los niveles de radón en esta misma parroquia y dando valores de 795Bq/m^3 que sobrepasan de los límites permitidos por el EPA y el Comité Científico de Naciones Unidas (UNSCEAR). (Pichisaca. 2006)

"En la Parroquia "Victoria del Portete" existe una alta concentración de radón en las viviendas por la veta de uranio que se encuentra en el subsuelo y según la EPA puede causar efectos adversos en las vías respiratorias a los habitantes que viven en dichas viviendas"

OBJETIVOS

Objetivo General

- Reducir los niveles de radón por debajo de los límites máximos permisibles, en viviendas de la parroquia “Victoria del Portete”, cantón Cuenca, Provincia del Azuay.

Objetivos Específicos

- Monitorear la concentración de radón en viviendas de la Parroquia “Victoria del Portete” previamente categorizadas según el material de construcción: adobe, ladrillo, madera, bloque y mixta
- Relacionar la concentración de radón con el material de construcción de las viviendas de la Parroquia.
- Emplear las técnicas de tapizado y aireación en las habitaciones que sobrepasan los límites de tolerancia y verificar el porcentaje de disminución de radón de acuerdo a lo establecido por la EPA.
- Estimar la dosis anual absorbida por los residentes de las viviendas después de las técnicas de remediación.

HIPÓTESIS Y VARIABLES

Hipótesis General

Los métodos de tapizado y aireación reducen los niveles de Radón en las viviendas de la parroquia “Victoria del Portete” hasta el límite de 150Bq/m³ según la EPA.

Identificación De Variables

Variable dependiente: Concentración del radón en las viviendas de la parroquia “Victoria del Portete”.

Variable independiente: Material de construcción, técnicas de remediación.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Generalidades

El radón es un gas noble que se origina en la serie uranio-radio y es radiactivo. Existen tres isótopos que se forman por las diferentes cadenas de desintegración radiactiva que son del uranio 238, que se forma el radio 226 y después da paso al radón 222. El uranio 235 produce el radio 223 que a su vez produce radón 219 y el torio 232 que origina al radio 224 para producir radón 220. (Ventoso García, 2017, p.7)

El radón 222 tiene mucha importancia porque es un gas que puede causar cáncer broncopulmonar, y representa más del 80% del radón ambiental, esto es perjudicial para el ser humano en toda su vida porque recibe el 50% de esta radiación. (Ventoso García, 2017, p.7)

El radón fue descubierto en el año de 1900 por Friederich Ernst Dorn, es un gas incoloro, inodoro insípido, invisible, es soluble en agua, más pesado que el aire y su vida media es de 3.8 días. (Ventoso García, 2017, p.7)

En el proceso de desintegración, el radón 222 produce partículas radiactivas α , lo que significa que tiene dos protones y dos neutrones, estas partículas tienen menos poder penetrante que las partículas β y también que las γ , son muy riesgosos si se ingieren, inhalan o penetran a través de una herida. (Ventoso García, 2017, p.7)

El radón es un gas que se encuentra distribuido abundantemente en la corteza terrestre, se pueden detectar dentro de hogares, pero sus niveles de radiación sería 50 a 100 veces menor de las que se puede manifestar dentro de las minas, las posibilidades de sufrir cáncer de pulmón, aumenta su porcentaje cuando nos encontramos relacionados con niveles de radón altos y que sea constante. (García, 2008, p. 17)

En estudios previos biológicos y epidemiológicos, el radón tiene el modelo de inhalación lineal, sin que exista un umbral de seguridad. En el continente europeo se estima que el gas radón causa un 9% de todos los casos de cáncer de pulmón. (García, 2008, p. 17)

1.2. Radiactividad

Se llama radiaciones a toda energía que se propaga en forma de onda a través del espacio. Existen un gran número de radiaciones, por lo que se clasifican de distintas formas. La característica más significativa es la que se hace entre radiaciones ionizantes y no ionizantes, es decir, entre las que poseen energía necesaria para cambiar la estructura de los átomos con los que interaccionan, transformándolos en iones, o las que no poseen tal capacidad. (Ferrer. 2009, p.14)

La peculiaridad de las sustancias radioactivas radica en que se desintegran continuamente en otras, emitiendo radiaciones que transportan energía. (Ferrer. 2009, p.14)

Las radiaciones ionizantes pueden provocar reacciones y cambios químicos con el material con el cual interaccionan. Estas partículas son capaces de romper los enlaces químicos de las moléculas o generar cambio genéticos en células reproductoras (modificando el ADN). (Ferrer. 2009, p.14)

Cualquier muestra de materiales de la corteza terrestre presenta radiactividad que se puede fácilmente detectar y medir. Esta radiactividad procede de una serie de elementos radiactivos que se hallan dispersados bastante uniformemente en los materiales de la corteza terrestre. (Garzón. 1979, p. 61)

Los elementos radiactivos que contribuyen mayormente a su radiactividad son el uranio, torio, descendientes de ambos y K-40, pudiéndose afirmar que se hallan presentes en cantidades variables en todas las rocas y suelos. (Garzón. 1979, p. 61)

Los granitos contienen una concentración media de uranio de 3ppm y una concentración de torio unas 3 veces superior. Las rocas sedimentarias poseen unas concentraciones en general inferiores, pero su radiactividad nunca es despreciable. (Garzón. 1979, p. 83)

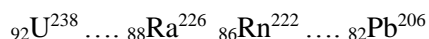
Existen áreas en las que, por diversas causas geológicas y geoquímicas, las concentraciones de los elementos radiactivos son anormalmente altas: son los yacimientos minerales radiactivos en los que las concentraciones de los elementos uranio o torio son muy superiores a las normales en la corteza terrestre. Aparte de los elementos radiactivos citados existen otros tales como el Rb-87, S-152, Lu-76, etc. (Garzón. 1979, p. 83)

Su contribución a la radiactividad de la corteza terrestre es insignificante en relación con la debida a los primeramente citados. (Garzón. 1979, p. 83)

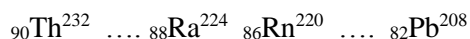
1.3. Cadenas de decaimiento

Las series radiactivas naturales originan un gas inerte, que es isótopo del gas noble radón. A continuación se representan, para cada una de las series citadas el cabeza de la serie, el precursor más inmediato del isótopo del radón, y el término final estable. (Garzón. 1979, p. 84)

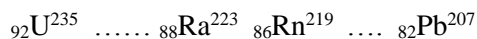
Serie del Uranio:



Serie del Torio:



Serie del Actinio:



Estos isótopos del radón, se denominan tradicionalmente, radón, actinón y torón respectivamente. (Garzón. 1979, p. 84)

Sus periodos de desintegración son:

Radón.....330.000 segundos

Torón.....55 segundos

Actinón.....4 segundos

Suponiendo establecida para cada serie la condición de equilibrio radiactivo y, partiendo de la misma actividad para todas ellas, las concentraciones de dichos gases son muy diferentes, ya que dichas concentraciones, en el supuesto citado de una misma actividad son proporcionales a los periodos respectivos. Las diferencias son todavía mayores para el radón y actinón si se tienen en cuenta las diferencias en las concentraciones naturales de los cabezas de serie. (Garzón. 1979, p. 84)

El antepasado directo del ${}^{222}\text{Rn}$ es el ${}^{226}\text{Ra}$, bastante difuso en la corteza terrestre y, con una semivida de 1620 años, o puede ser menos en equilibrio con el ${}^{238}\text{U}$. Puede presentarse como impureza en los retículos cristalinos o ser atacado a la superficie de las partículas que forman el suelo. Típicamente la actividad del ${}^{226}\text{Ra}$ es de 40Bq/kg. (NCRP. 1988, p.15)

El radio está presente en las aguas subterráneas por erosión de las rocas y durante el decaimiento del padre. El radio 228, emisor β y el radio 224 (antepasado del thoron), pertenecientes a la serie del torio, son aquellos presentes en agua, si recogiera por hojas profundas, como por ejemplo el agua de los pozos artesanos o aquel procedente de instalaciones de extracción, con una actividad de 40Bq/m^3 , mientras en las aguas superficiales los valores son inferiores de un orden de tamaño. (NCRP. 1988, p.16)

Entre los hijos del thoron es importante el ^{212}Pb que, con una vida mediana de 10.6 horas puede difundirse ampliamente antes de decaer; es importante también el ^{212}Po porque emite partículas α de 8.8MeV, capaces de penetrar la piel y capaz de producir, como las otras partículas α , en las células del aparato respiratorio MSB (Múltiples Strand Break), la cadena de decaimientos del thoron se concluye con el plomo 208 en tiempos relativamente breves. (NCRP. 1988, p.16)

Por tanto por cuanto conciernen los efectos radioproteccionistas ninguno de éste puede ser descuidado. (NCRP. 1988, p.16)

Al contrario, entre los hijos del radón, el ^{210}Pb tiene un tiempo de vida media de 22 años, así largo de poder considerar tal elemento estable por cuanto concierne los efectos del ^{222}Rn y su descendencia sobre la salud humana, en cuanto mientras tanto se deposita al suelo tal como a sus hijos. (NCRP. 1988, p.16)

El ^{222}Rn decae en ^{218}Po , dañino porque emite rayos α de 6MeV, mientras sus descendientes ^{214}Pb y ^{214}Bi son menos dañinos en cuanto a emisores β se trata; este compuesto decae en ^{214}Po , que tiene un tiempo de vida media de 1.6×10^{-4} segundos; por tanto su decaimiento se puede considerar instantáneo y la partícula α de 7.7MeV que emite es capaz de producir MSB en las células traqueo-bronquial y de los alvéolos pulmonares. (NCRP. 1988, p.16)

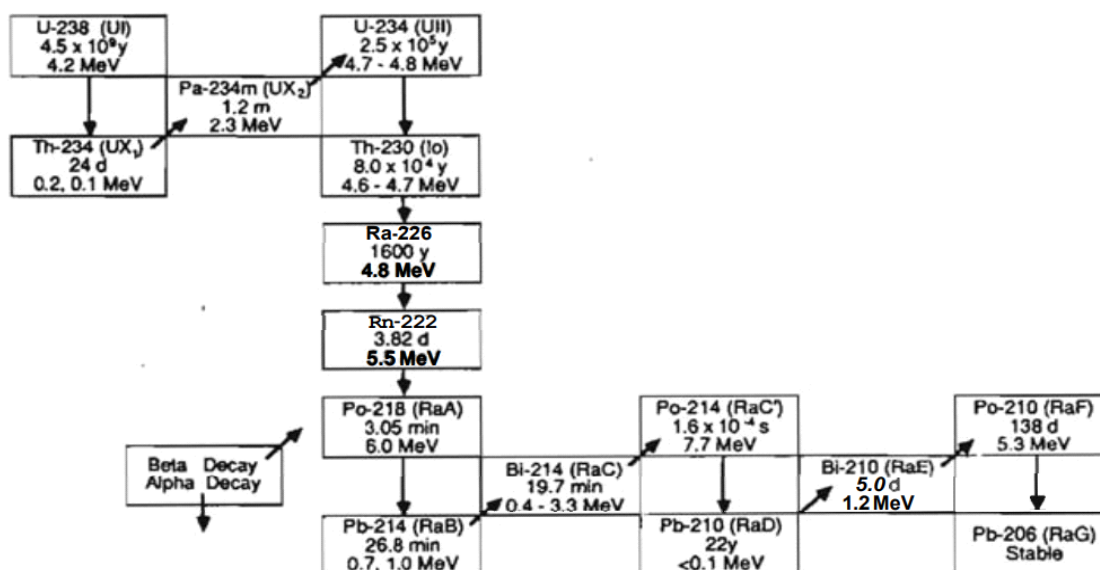


Gráfico 1-1: Cadena de decaimiento del ^{238}U .
Realizado por: NCRP; 1988.

1.4. Distribución en el entorno

El uranio y el fenol son difundidos relativamente en la corteza terrestre, con una concentración mediana de 2.7 ppm por el uranio 238, 0.02 ppm por el uranio 235 y de 8.5 ppm por el fenol, aunque la distribución es muy desigual, con picos elevados de las tobas y de los granitos, y más en general en las rocas ígneas, ya que las erupciones volcánicas llevan en superficie a tales metales pesados del núcleo terrenal, manteniendo derretido por el calor emitido por tales cadenas de decaimientos radiactivos. (Wilkening. 1972, p. 95)

Pues se pueden encontrar concentraciones locales extremadamente elevadas de radionucleidos, como sobre las conocidas playas indianas y brasileñas, dónde a causa del fenol y uranio respectivamente, el fondo radiactivo también provoca exposiciones de 30mSv/año, además sin que hallen elevados niveles de tumor a los pulmones entre los habitantes de la zona. (Wilkening. 1972, p. 95)

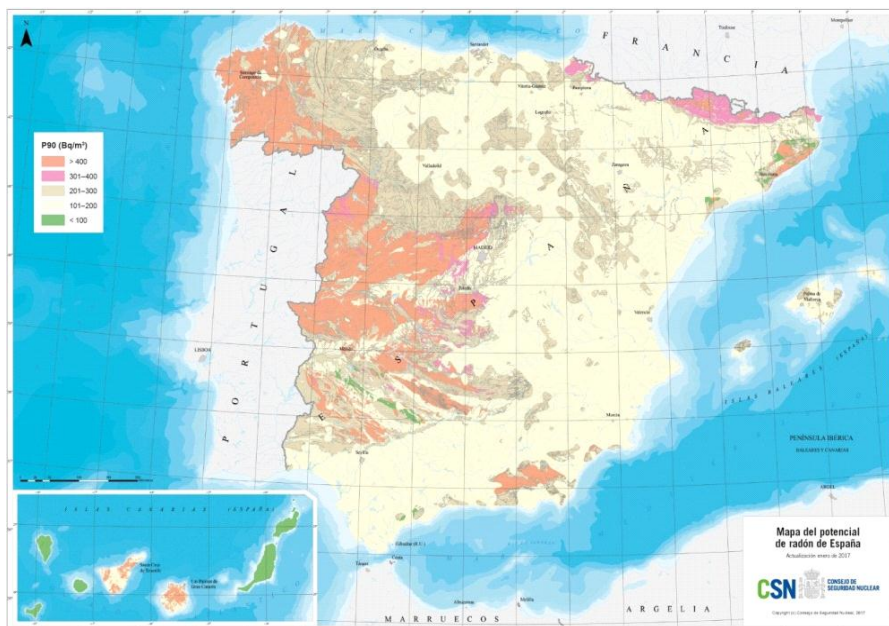


Figura 1-1: Resultados de un campo de medidas sobre la difusión del radón en España.
Realizado por: CSN; 2012

Podrían presentar niveles peligrosos de radiactividad a causa del radón, cuando las áreas volcánicas están formadas por rocas tales como el basalto y el pórfido, que presenta mayores concentraciones de radiactividad. (Wilkening. 1972, p. 96)

Sin embargo los océanos (aunque los fondos son contruibuidos por rocas relativamente “jóvenes” y a menudo de origen volcánico) presentan, como los casquetes polares, tasas de exhalación de radón irrelevantes; tales rocas son relativamente ricas en elementos radiactivos, pero estos son entrampados a su interior, y tales rocas son compactas e impermeables; además cuando la lava es eructada por las dorsales mediano – oceánicas se encuentra a 3000-4000 m de la superficie, y aunque el radón es soluble en agua no puede difundirse a suficiencia antes de decaer. (Wilkening. 1972, p. 96)

El radón una vez formado, se difunde en los intersticios del suelo, con concentraciones entre 30 y 100 kBq m⁻³ a algunos metros de profundidad, mucho más de la concentración en el aire externo, de 10-20 Bq m⁻³; por tanto un flujo de átomos de radón del suelo al aire. (Wilkening. 1972, p.97)

Los factores que influyen tal migración del suelo son:

- Concentración del radio en las rocas;
- El “poder de emanación”, es decir, la fracción de radón concedida por la roca;

- La porosidad del suelo;
- El diferencial de presión atmosférica por la interfaz suelo-aire;
- Grado de saturación del agua. (Wilkening. 1972, p.98)

La intensidad de exhalación definida como poder de emanación del ^{222}Rn del suelo, varía ampliamente de lugar a lugar y también depende de las condiciones del suelo y de la presión atmosférica al momento de la medida. La media de tal tasa de exhalación es de $17\text{Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mientras la emanación total por la entera superficie terrenal es de 2TBq s^{-1} , con contribuciones irrelevantes de océanos, áreas cubiertas de lava y casquetes polares. (Wilkening. 1972, p.99)

El radón es soluble en agua; por las aguas superficiales la actividad del ^{222}Rn es menor de 40Bq m^{-3} , mientras en las aguas subterráneas varían entre 4 y 40kBq m^{-3} ; pozos profundos y nacientes termales son ricos en radón. El 5% de los manantiales en los EE.UU, tiene una actividad mayor de 370kBq m^{-3} (Nazaroff y Nero; 1988: p. 234), pozos en Suecia y Finlandia tienen medias entre 630 y 1800kBq m^{-3} (Suomela. 1972, p. 641).

En Nueva Escocia Nazaroff y Nero en once pozos artesanos han encontrado una media de 6300kBq m^{-3} . Pues el radón procedente de grifos y duchas en las viviendas civiles no es irrelevante: más o menos se trata de 40Bq m^{-3} de más sobre la concentración interior media si el agua no proviene del acueducto, sino de pozos artesanos profundos. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 234)

La dosis absorbida en tales entornos de los pulmones es de 3 a 12 veces superiores a aquella absorbida por el estómago en presencia de aguas ricas en radón. Usted puede estimar la aportación a la concentración en aire de radón del agua, utilizando las relaciones siguientes:

$$C_A = \frac{C_W W_e}{V \lambda_V}$$

C_A = concentración en aire de radón interior, Bq m^{-3} ,

C_W = concentración de radón en agua, Bq m^{-3} ,

W = consumo de agua per cápita, $\text{m}^3 \text{ persona}^{-1} \text{ h}^{-1}$,

e = eficiencia de traslado radón agua – aire, dependiente del modo de erogación,

V = volumen para domicilio, $\text{m}^3 \text{ persona}^{-1}$,

λ_V = tasa de repuesto de aire (h^{-1})

$$C_A = f C_W$$

Donde el factor de traslado f es:

$$f = \frac{W_e}{V \lambda_v}$$

Las tasas de consumo de agua per cápita son de $0.189 \text{ m}^3 \text{ persona}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Barnes. 1979) en los EE.UU, la eficiencia de traslado varía de 0.98 por la lava vajillas a 0.3 por el baño (Hess. 1982, p.8). El volumen medio por residente es de 99 m^3 , la tasa de intercambio del aire es de 0.68 h^{-1} , determinado haciendo una media pesada sobre dos estudios realizados. El factor de traslado es por tanto del orden de 6×10^{-4} . (Hess. 1982, p.8)

En Ecuador con su historia geológica reciente y su actividad volcánica intensa es un país en peligro por el radón: volcanes apagados como el Chimborazo, Illinizas, Pan de azúcar, volcanes activos como el Cotopaxi, Sangay, Reventador, Pichincha (Guagua y Ruco), Tungurahua, Cayambe y los innumerables manantiales termales que pueden representar notables manantiales de radón. Es por tanto necesario valorar el riesgo radiobiológico para planear eventuales intervenciones de radioprotección. (Hess. 1982, p.59)



Figura 2-1: Viviendas en Salamanca presentan niveles de radón de 1000 Bq/m^3 .
Realizado por: CSN; 2012

Otro importante fuente de radón son los materiales de construcción, a causa de la pavimentación de la plaza San Pietro en Roma presenta una intensidad de emanación de radón muy elevado. (Hess. 1982, p. 198)

Tal problema ha sido estudiado en Finlandia, y se ha visto que no puede existir un criterio inequívoco y llevaría a excluir del mercado porcentajes excesivos de materiales de construcción o a tener exposiciones elevadas sin valida razón. Para valorar la actividad del material de

construcción que se quiere utilizar es necesario considerar el ^{226}Ra . El ^{232}Th y el ^{40}K . La abundancia del ^{226}Ra en los materiales de construcción varía entre 30 y 70 Bq kg^{-1} , con valores más altos por los ladrillos con respecto del hormigón de acerca del 50%, e inferiores por los revoques naturales de un factor 5. (Barnes. 1979, p. 204)

Un importante fuente de radón pueden ser los almacenes de piedra por la acumulación de calor, utilizados en los países nortños para acumular calor y contribuir a la calefacción de las casas; en Suecia y en Noruega contribuyen en media con 40 Bq m^{-3} a la concentración interior de radón, pero si se usa el granito se puede subir a mas que 100 Bq m^{-3} . (Barnes. 1979, p. 204)

1.5. Radón en ambientes interiores

El radón se considera cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS), según la International Agency for Research on Cancer (IARC) y la Environmental Protection Agency (EPA) de EE.UU., que lo consideran como carcinógeno del Grupo 1 y del Grupo A, respectivamente. El efecto más perjudicial que afecta a la salud de las personas es la inhalación de radón, como sus productos de desintegración, da por resultado cáncer de pulmón. (Rey y Velasco, 2007: p. 56)

En Estados Unidos según EPA el 20% de las viviendas contienen niveles elevados de radón. Se han realizado estudios sobre calidad del aire sobre el radón han dado como resultado que los descendientes del radón en ambientes interiores son considerablemente más altas que en los ambientes exteriores, que se encuentran en concentraciones de 2 a 5 Bq/m^3 EER (Equilibrium Equivalent Radon), mientras que en hogares pueden llegar como mínimo a 50 Bq/m^3 . (Rey y Velasco, 2007: p. 56)

El gas radón emana de la tierra en cualquier lugar y también se puede encontrar en materiales existentes. Por sus propiedades se puede dispersar fácilmente al exterior, pero un gran problema es que se mantiene concentrado en lugares cerrados, como es en fosos y edificios, pero en especial en viviendas u otros lugares pequeños que es difícil una ventilación correcta. (Rey y Velasco, 2007: p. 55)

Los niveles de radón se estima que los niveles aumentan en regiones cálidas en ambientes interiores son ocho veces mayores que los niveles en ambientes exteriores, por lo que las personas tienen más riesgo de exponerse al radón en el interior de edificios o viviendas. Estas concentraciones de radón dependen de la geografía de la zona, también de los materiales de construcción utilizados y también de la ventilación que exista en estos lugares. (Rey y Velasco, 2007: p. 55)

Las zonas que son muy contaminadas por el gas radón son:

- Las pizarras y las morrenas (sedimentos depositados por un glaciar).
- Los terrenos que contengan residuos con altas concentraciones de radio.
- Terrenos graníticos o rocas basálticas. (Rey y Velasco, 2007: p. 55)

El radón se puede generar en medios naturales o también en materiales artificiales como es el hormigón o el ladrillo, entre otros. Los materiales de construcción son capaces de liberar radón, dependiendo de ciertos factores, a diferentes velocidades, como son:

- La concentración de radio en los mismos.
- Su porosidad.
- La preparación y tratamiento superficial de las paredes. (Rey y Velasco, 2007: p. 56)

1.6. Determinación del nivel de radón en el aire

El mayor porcentaje de radón se encuentra en ambientes cerrados, este proviene del subsuelo o lo que se halla debajo de los cimientos. El gas radón sube por los canales del suelo y se quedan atrapados en la base de los edificios o viviendas, donde ejercen presión. La presión del aire en los edificios u hogares es relativamente baja que la presión en el suelo, el radón tiene la capacidad de atravesar pisos y paredes, este gas penetra estos materiales de construcción y se almacena dentro de edificios y hogares. (Berenguer. 1999, p.3)

El gas radón se puede desplazar a través de grietas y otras ranuras. Cuando el radón entra a los edificios o casas, queda retenido en los mismos. (Berenguer. 1999, p.3)

El radón por su condición, tiene una movilidad que es alta entre los poros de los materiales de construcción, penetra fácilmente en el interior de las viviendas, puede atravesar los forjados, soleras o muros, como también pueden introducirse en grietas y fisuras. La acumulación del gas radón dentro de los hogares, eleva las concentraciones y por tanto el riesgo para la salud de las personas. (Frutos y Olaya, 2010: p. 13)

Las ventilaciones de los hogares, las evacuaciones de aire fétido de cuartos húmedos, chimeneas, filtraciones por ventanas y puertas, todas estas construcciones sumadas a las variaciones atmosféricas, es normal que exista una pequeña, puede causar una depresión en los ambientes interiores, en comparación con los exteriores del terreno donde se genera el radón de forma continua. (Frutos y Olaya, 2010: p. 13)

Las construcciones actuales han evolucionado en lo que es ahorro energético, los edificios y viviendas se han hecho más estancos y con pocas filtraciones. Esto ha provocado que aumente considerablemente la concentración de radón en los ambientes interiores por la poca ventilación que existe. (Frutos y Olaya, 2010: p. 13)

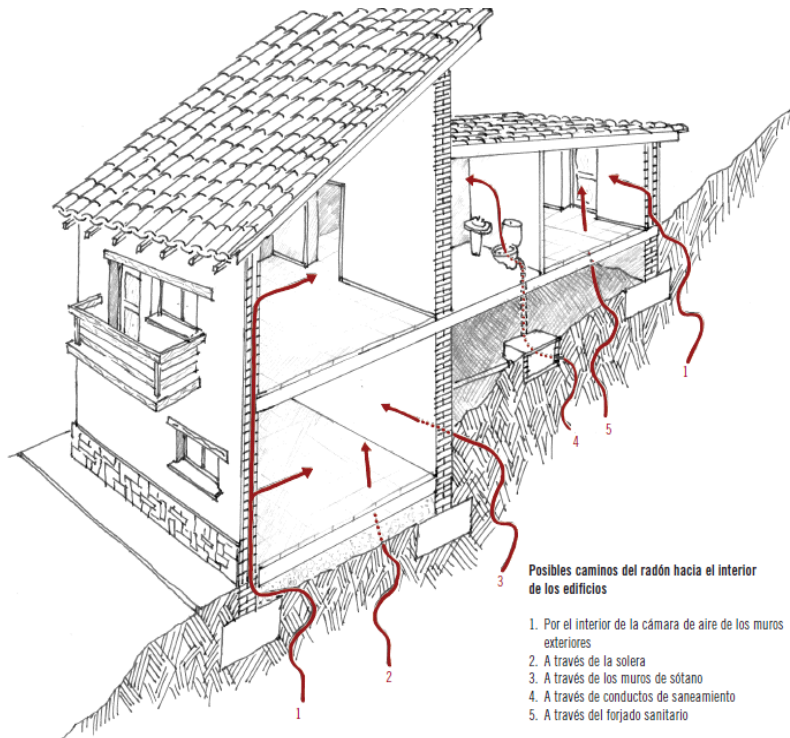


Figura 3-1: Vías comunes de entrada de radón. Puntos débiles.
Realizado por: Frutos; Olaya; 2010.

1.6.1. Cámaras de aire de muros

Es una vía muy utilizada por el gas radón, cuando pase por estas cámaras podrá moverse a voluntad hasta llegar a pisos altos. (Frutos y Olaya, 2010: p. 14)

1.6.2. Soleras en sótanos

Estas soleras se pueden hacer con hormigón armado o también en masa, con juntas de dilatación situadas por tramos de superficie, y con juntas en los encuentros con paramentos verticales, produciendo movimientos diferenciales entre materiales constructivos sin que haya patologías por rotura de sistemas. Estas juntas son necesarias en las construcciones pero llevan el gas al interior de estas y el radón es capaz de entrar por poros y por medio de estas juntas. (Frutos y Olaya, 2010: p. 14)

1.6.2.1. *Muros de sótano*

Los muros de sótanos de hogares enterrados o semienterrado, los gases pueden transferirse al interior de estos, por la razón que están en contacto directo con el terreno. (Frutos y Olaya, 2010: p. 14)

1.6.2.2. *Conductos de saneamiento*

Estos conductos están estrechamente unidos con todos los lugares de la construcción, como con el piso del sótano, por lo que el gas penetrará por las arquetas, y a través de los bajantes podrá ascender hasta los cuartos húmedos. Por lo general los niveles de radón se encuentran en las zonas bajas del terreno, en plantas altas el gas se disipa y no tiene niveles altos, pero por los conductos puede subir este gas de las partes inferiores a las más alejadas. (Frutos y Olaya, 2010: p. 15)

1.6.2.3. *Forjados sanitarios*

El radón se puede acumular en el forjado sanitario y si no está ventilada, hay una gran posibilidad que pase el forjado y penetre en la vivienda. (Frutos y Olaya, 2010: p. 15)

1.7. **Riesgo radiobiológico**

El Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de la radiación atómica (UNSCEAR), el gas radón está presente en la mitad del promedio mundial de exposición del ser humano a fuentes naturales de radiación, esto dependerá también de su distribución geográfica. (Piedecausa y Chincón-Payá, 2011: p.3)

Estas radiaciones pueden causar un gran daño en el ser humano, pero dependen de ciertos factores, como es el medio ambiente y la intensidad de radiación, el tiempo de exposición, la energía cedida, la superficie irradiada o la dosis de radiación, como también el tiempo en el que está expuesta la persona, la dosis que un ser humano recibe como promedio en Europa originario de fuentes naturales es de 2.41 mSv/año. (Piedecausa y Chincón-Payá, 2011: p.3)

Esta cantidad en situaciones normales y como promedio se estima que se distribuye en:

- Un 50% de la dosis procedente del radón.
- Un 20% de la dosis procedente de la radiación terrestre (materiales de construcción).
- Un 15% de la dosis procedente de la radiación cósmica.

- Un 15% de la dosis procedente del propio organismo. (Piedecausa y Chincón-Payá, 2011: p.3)

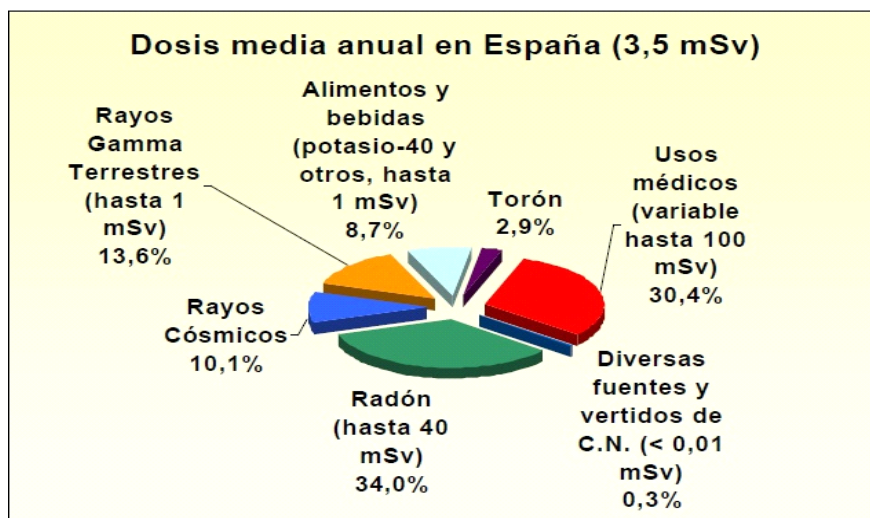


Gráfico 2-1: Fuentes de exposición de origen natural y artificial, dosis de radiación promedio recibida en un año por una persona cualquiera de la población de España.

Realizado por: Piedecausa; Chincón-Payá; 2011.

El riesgo de cáncer de pulmón que se ha observado en trabajadores de minas subterráneas expuestas al gas radón nos da una idea que tan probable es que en las personas en general también puedan tener esta enfermedad, debido a que están expuestas a este gas en el interior de sus casas o de edificios, aunque cabe resaltar que los niveles de radón en minas serán más elevadas y perjudicial que en viviendas. (Carr et al., 2015: pp. 7)

En el análisis agrupado norteamericano del año 2006, abarco 3662 casos de cáncer de pulmón, estos siete estudios tenían como objetivo que no solo el tabaquismo era causa de esta patología, también tenía mucha participación la exposición de las personas al radón, estos estudios al combinarse dieron como resultado que se incrementa un 11% por cada 100 Bq/m³ de radón, la probabilidad de padecer cáncer de pulmón. (Carr et al., 2015: pp. 12)

En estudios previos también tuvieron resultados que reflejaban que el cáncer de pulmón dependía del sexo, edad y consumo de tabaco de los individuos, con datos sólidos que indican que el riesgo aumenta incluso por debajo de los 200 Bq/m³ la concentración de radón, a partir de la cual se recomienda actualmente tomar medidas en muchos países. (Carr et al., 2015: pp. 13)

Además del cáncer de pulmón, las personas expuestas al radón pueden tener otro tipo de enfermedades, por la razón que el radón también produce sus productos de desintegración, al ser una radiación ionizante y si una parte del organismo es la que recibe la mayor dosis es la que

será más afectada como el epitelio bronquial, vías respiratorias extratorácicas y también la piel. (Carr et al., 2015: pp. 15)

Los datos presentados por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), dan como resultado que la concentración media de radón en ambientes interiores es de 39 Bq/m³, en todos los países que son parte del OCDE, estos estudios se han logrado por las concentraciones estimadas de radón en interiores obtenidas de estudios de medición combinadas con las estimaciones indirectas del riesgo proporcionadas por los estudios en mineros del análisis de BEIR VI. (Carr et al., 2015: pp. 16)

1.8. Guías y valores de referencia

Las concentraciones de radón en ambientes interiores, según la Unión Europea recomienda que si existe niveles de 400 Bq/m³, se debe iniciar acciones de remediación inmediatas en las viviendas que se encuentran ya existentes, y 200 Bq/m³ en casas de nueva construcción, como objetivo de reducir estos niveles de manera considerable. (Piedecausa y Chincón-Payá, 2011: p. 4)

En países como Reino Unido y EE.UU., recomiendan para todo tipo de hogares o edificios que los niveles de radón sean menores de 150 Bq/m³, en estos distritos están establecidos un tiempo en que las viviendas o edificios puedan disminuir estos niveles de radón, puede ser años, meses o semanas, siendo países que toman medidas urgentes contra esta problemática. (Piedecausa y Chincón-Payá, 2011: p. 4)

Actualmente, se puede reducir los niveles de radón de una manera fácil a 75 Bq/m³ en las viviendas, según la OMS el riesgo de cáncer de pulmón aumenta un 16% si se incrementa el nivel de radón cada 100 Bq/m³, es decir, que el riesgo aumenta proporcionalmente con el aumento de exposición. (Piedecausa y Chincón-Payá, 2011: p. 4)

El síndrome del edificio enfermo (SEE) que se trata de un deterioro biológico de las viviendas o edificios por ciertos factores como es por hongos, ácaros, etc., o también de un deterioro físico debido a ruidos, mala ventilación, etc., o un deterioro químico debido a CO₂, radón, asbestos, etc., con esta problemática en construcciones la OMS manifiesta que el 30% de los hogares de los países industrializados resultan afectados por estas deficiencias. (Piedecausa y Chincón-Payá, 2011: p. 5)

Además de estos problemas también se suma las condiciones sociológicas que empeoran la situación, ya que la creciente permanencia de las personas urbanas en ambientes cerrados sobrepasa el 75% de su tiempo, llegando incluso al 90% en el caso de niños, persona de la

tercera edad o enfermos crónicos, esto ha provocado un interés en el estudio de ambientes interiores, especialmente los que afectan a la salud y dar solución a estos problemas. (Piedecausa y Chincón-Payá, 2011: p. 5)

1.9. Características de viviendas resistentes al gas radón

El radón por sus propiedades tiene la facilidad de escapar por el suelo al medio ambiente, dependiendo de su geografía, pero también existen otros factores por lo que el gas puede escapar, un factor puede ser por movimientos convectivos, en donde el radón es arrastrado por movimientos de masas de gas del suelo, a través de poros y fisuras que existen no solo en las rocas, sino por las viviendas que también poseen e ingresando a estas. (Quindós, 1995, p. 8)

En el suelo se puede dar un proceso de convección, que es importante en el proceso de transporte del radón en el suelo, también con una relación con otro mecanismo denominado difusión molecular. (Quindós, 1995, p. 10)

Lo mismo pasa con los materiales de construcción, por ejemplo en los hormigones, que forman parte de los cimientos de las casas, es la primera barrera que encuentra el radón, así cuando se genere un gradiente de presiones, el aire pasará por permeabilidad de los suelos y materiales de construcción, esto puede generar altos niveles de radón en las habitaciones. (Quindós, 1995, p. 10)

La permeabilidad del suelo dependerá no solo del volumen de sus poros, sino también del tamaño, distribución e interconexión existente entre los mismos. Por eso, es necesaria la medida de estos parámetros, tanto en el suelo como en los materiales de construcción, esta vista previa de la vivienda a construirse es necesaria para evitar altas concentraciones de radón en ambientes interiores. (Quindós, 1995, p. 10)

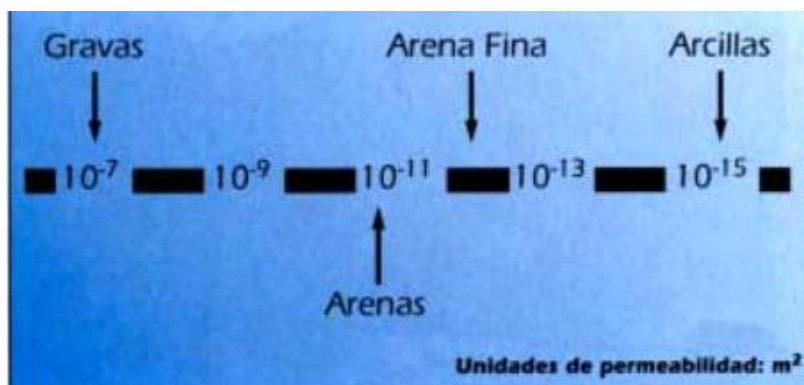


Figura 4-1: Tamaños de las partículas del suelo, que se asemejan a la magnitud inferior de los materiales de construcción.

Realizado por: Quindós, 1995.

Existen técnicas que la EPA aconseja a las personas que quieran construir un hogar o un edificio, para evitar altas concentraciones de radón en ambientes internos. Son cinco características que los constructores deberían incluir para evitar esta problemática en los hogares, los cuales son:

1.9.1. Grava

Se debe usar una capa de 4 pulgadas de grava gruesa y limpia, esto se sitúa debajo de la losa o cimentación, esto va a permitir que el radón proveniente del suelo no pueda entrar por debajo de las casas. En el caso que no se requiera grava en la construcción se utiliza una tubería perforada o una alfombra de colección. (EPA, 2017, p.1)

1.9.2. Lámina de plástico o retardador de vapor

En este proceso se va a colocar láminas de plástico de alta resistencia (polietileno de 6 mil), esto permite que los gases, incluido el radón, no puedan entrar en el hogar. Esta lámina también puede evitar que el concreto obstruya la capa de grava cuando se dispersa la losa. (EPA, 2017, p.1)

1.9.3. Una tubería de ventilación

Con una tubería PVC sólido de 3 o 4 pulgadas, se añade verticalmente desde la capa de grava, pasa por el espacio acondicionado y el techo del hogar, para ventilar el radón fuera de la casa. Este proceso también es llamado “Sistema de radón). (EPA, 2017, p.1)

1.9.4. Sellado y calafateo

Se sellará todas las aberturas, grietas en el piso de la base de concreto y las paredes con masilla de poliuretano, este proceso evita que el gas radón ingrese en la vivienda. (EPA, 2017, p.1)

1.9.5. Caja de conexiones

Se debe instalar una caja de conexiones eléctricas en la parte del ático para que pueda utilizar el ventilador de ventilación, esto es en caso que al probar el radón, se necesitará un sistema más resistente. (EPA, 2017, p.1)

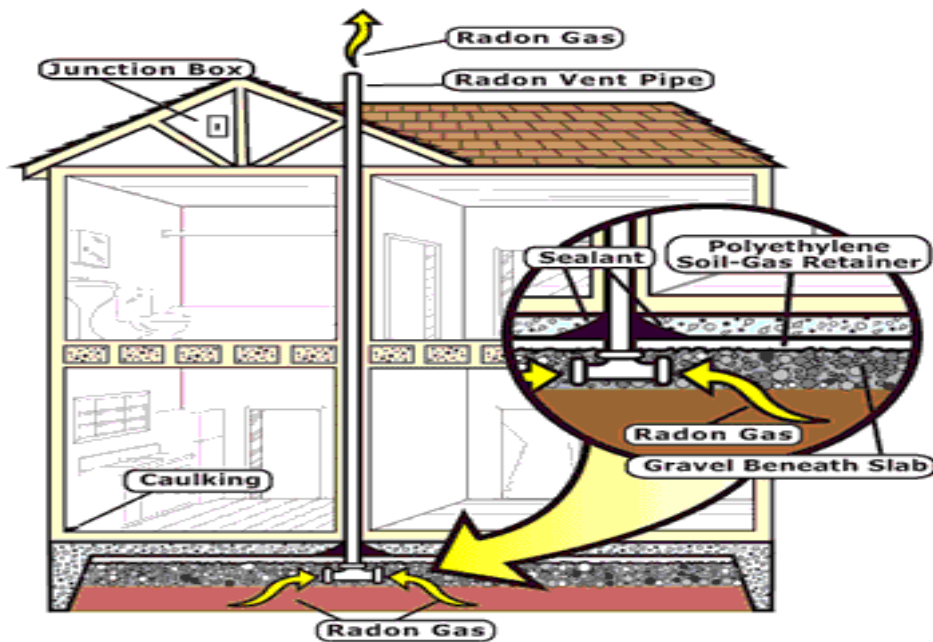


Figura 5-1: Características de una vivienda para reducir radón.
Realizado por: EPA; 2017.

1.9.6. *Materiales de construcción.*

Los materiales de construcción pueden transportar radón y es explicado como:

- Flujo, el radón se puede transportar por el fluido de los poros y en los intersticios del material.
- Difusión, el radón se transporta en las porosidades interiores del material al fluido.
(Stranden, 1985, p. 45)

La tasa de producción del radón se expresa con la siguiente fórmula:

$$f = \frac{1}{\varepsilon} \lambda I p n$$

f = tasa de producción del radón en Bq/h m³

I = concentración del ²²²Ra en Bq/kg

λ = constante de decaimiento del ²²²Rn en h⁻¹

ε = porosidad del material

n = coeficiente de emanación

p = densidad del material en kg/m³

La tasa de exhalación para un muro de espesor d se expresa:

$$E_d = \varepsilon f L \tanh\left(\frac{d}{2L}\right)$$

E_d = tasa de exhalación por unidad de área de la pared en Bq/m² h

L = largo de difusión en metros

$$= \sqrt{D_e/\lambda}$$

D_e = es el coeficiente efectivo de difusión (m²/ h)

La tasa de emanación puede variar entre los niveles de radón y las botaduras materiales, ya que está atada a las materias primas empleadas. (Stranden, 1985, p. 45)

El radón en ambientes interiores contribuye, considerando al equilibrio, de los materiales de construcción se explica con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{ES}{V \lambda_v}$$

C = concentración del radón en el aire interior en Bq/m³

E = tasa de exhalación por unidad de área en Bq/h m²

S = superficie de las paredes en m²

V = volumen de la habitación en m³

λ_v = tasa de repuesto de aire en hora. (Stranden, 1985, p. 45)

1.9.7. Transporte

El radón puede difundirse, penetrar en las viviendas, existen procesos que son capaces de controlar los niveles de radón, también de sus descendientes, en los ambientes internos de las habitaciones para realizar acciones correctas que permitan reducir estas concentraciones de radón. (Jaminska, et al., 1982: p. 206)

1.9.8. *Difusión*

El radón es un gas inerte y monoatómico, tiene la característica de no reaccionar químicamente con los elementos que entra en contacto, tiene la capacidad alta de difusión por el cual el radón puede entrar a la atmósfera y puede ser filtrado por plásticos. (Jaminska, et al., 1982: p. 206)

1.9.9. *Suelo*

El suelo es uno de las principales fuentes donde escapa el radón. Unas de las características del gas radón es el poder de exhalación al estado estacionario, que representa la fracción de este gas, producida dentro de un sólido que exhala del solido mismo. También es muy indispensable la permeabilidad del terreno: si un fluido-aire pasa, puede variar 10 órdenes su tamaño. (Jaminska, et al., 1982: p. 206)

$$k = \frac{C_{\varepsilon^2}}{TS^2}$$

k = permeabilidad en m^2

C = constante dependiente de la forma de los poros, incluida entre 0.5 y 0.67

ε = porosidad

T = tortuosidad, $T \geq 1$

S = área de la superficie específica m^{-1}

Para partículas esféricas uniformes:

$$S = \frac{6(1 - \varepsilon)}{d}$$

d = diámetro de la partícula en μm . (Jaminska, et al., 1982: p. 206)

El radón es capaz de generar fracciones que en el suelo deja los granos sólidos y entra en el volumen de las porosidades (poder de emanación), esto puede suceder en rango de 0.05 a 0.7. Cuando sucede el decaimiento α del Ra, el ^{222}Rn y el ^{220}Rn obtendrán energías cinéticas de 86 y 103 keV respectivamente. Estos nuevos átomos que se forman viajan en el material hasta la energía completa. El rango de ^{222}Rn es de 0.02 a 0.07 μm por los minerales, 0.1 μm por el agua y 63 μm en el aire. (Schiller, 1984, p. 2)

Los componentes del coeficiente emanación son:

1.9.9.1. *Culatazo directo*

Los átomos cuando acaban su transporte en el espacio entre los poros conteniendo un fluido,

1.9.9.2. *Culatazo indirecto*

Los átomos pueden cambiar y penetrar en otro grano, saliendo por el túnel que ha hecho.

1.9.10. *Difusión*

Esto sucede en el interior de un grano individual, y el gas radón puede migrar en los poros por esta propiedad. (Schiller, 1984, p. 2)

Una partícula esférica como es limo con un diámetro de 20 μ m, con un rango de culatazo de 0.035 μ m, solo el 25% de estos átomos de radón dejan el grano, ya que en estudios previos indican que puede ser mayor el porcentaje, existen hipótesis que indican que el radio s distribuido por la película de la superficie del grano, otra hipótesis es la corrosión química por el decaimiento de los progenitores, dañan la estructura del cristal y migran más fácilmente. (Megumi y Mamuro; 1974: 79)

1.10. Métodos de medida

La instrumentación necesaria para la medida del radón se realiza por métodos pasivos, activos y para sus descendientes es el conjunto bomba/filtro. (Quindós et al; 2010: p. 7)

1.10.1. *Métodos activos*

Este proceso se alimenta eléctricamente, puede almacenar la concentración de radón en un determinado tiempo, y tiene lectura directa. (Quindós et al; 2010: p. 7)

1.10.1.1. *Medidor de gas radón Corentium Home*

Este monitor de gas radón tiene espectrometría alfa con método de recopilación de radón, se puede tomar muestras de varias habitaciones de una o varias viviendas, lugar de trabajo, escuelas, o en distintos lugares. La arquitectura interna del equipo proviene de tecnología avanzada, reservada para detectores de tipo comercial. Este aparato permite el uso de algoritmos para el análisis de señales que son más sofisticados. (Corentium AS, 2017, p. 8)



Figura 6-1: Medidor de radón Corentium Home.
Realizado por: Corentium AS, 2017.

El monitor se puede adaptar con mucha facilidad a cualquier entorno y elimina imprecisiones relacionadas con factores externos, lo que esto nos permitirá obtener datos precisos de un determinado lugar. El rango de medición es de 0 a 9999 Bq/m³ en la pantalla LCD y tiene un valor máximo medido de 9999 Bq/ m³. (Corentium AS, 2017, p. 9)

1.10.1.2. Cámaras de ionización

Se conforma de cilindros de latón o de acero, posee un electrodo central de colección con un volumen muy sensible entre uno y algunos centenares de litros. Esta cámara está sellada, esto ayuda a que los hijos, que están presentes en pequeñas cantidades, del radón estén en equilibrio con el mismo. El aire es filtrado y se puede medir con electrometría que registra 1% de 1×10^{-13} Amperes. Este equipo es muy preciso para la medición de radón y relativamente costoso. (Quindós et al; 2010; p. 11)

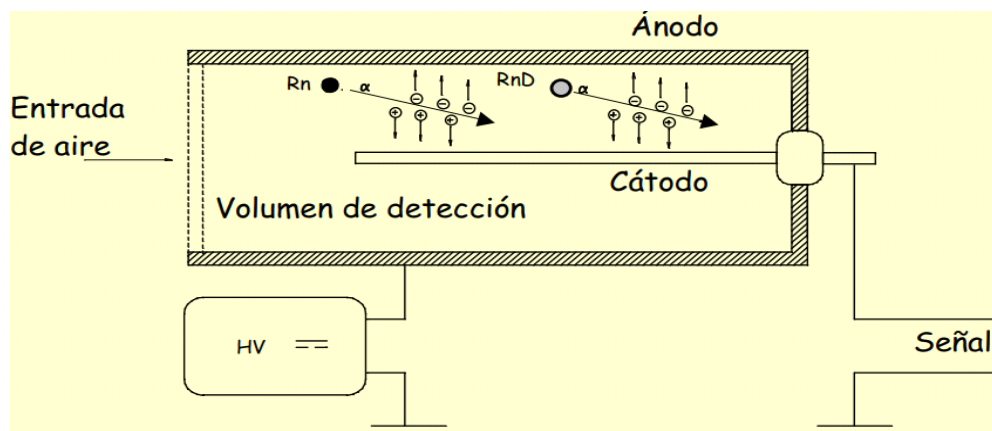


Figura 7-1: Esquema de la cámara de ionización para medición del radón.
Realizado por: Quindós et al; 2010.

1.10.1.3. Celdas de centelleo o de Lucas

Esta celda tiene una elevada eficiencia de conversión de los fotones en electrones, posee un contenedor forrado con un scintillador alfa-sensible, tipo ZnS(Ag), con una ventana transparente y un fotomultiplicador, donde el aire puede ser filtrado o introducido en la celda por aspiración, bombeo o difusión. (Quindós et al; 2010: p. 12)

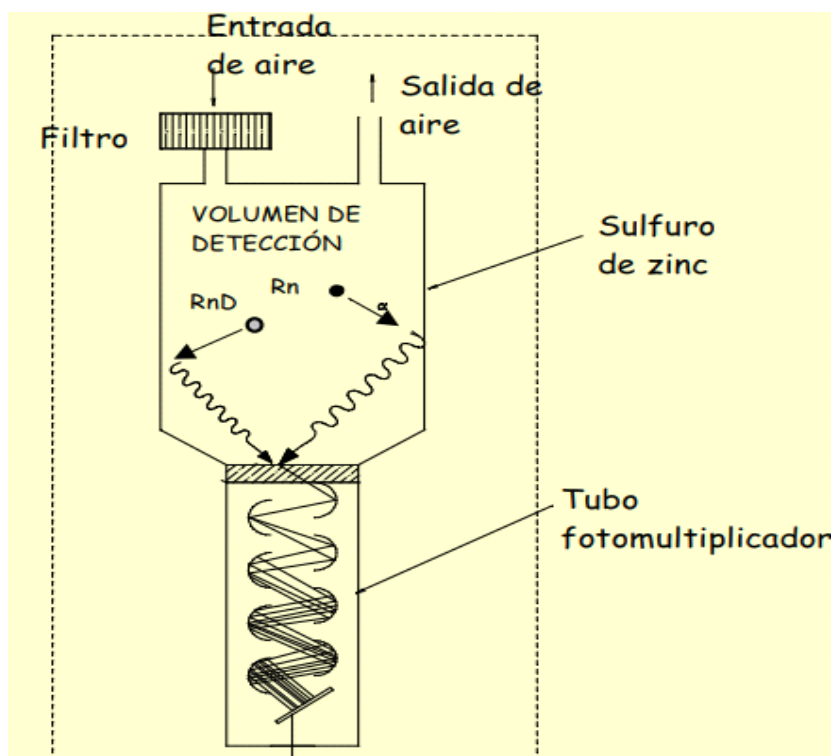


Figura 8-1: Esquema de celdas de centelleo o de Lucas para medición del radón.

Realizado por: Quindós et al; 2010.

1.10.1.4. Detectores a estado sólido

El aire se difunde por un filtro, dentro de la cámara del equipo, donde está presente el detector a estado sólido que es sensible a partículas α . (Quindós et al; 2010: p. 12)

1.10.2. Métodos pasivos

Este método se realiza sin alimentación eléctrica, se debe realizar con equipos específicos, es una medida de exposición integral, ya que consta de análisis posterior de exposición. (Quindós et al; 2010: p. 7)

1.10.2.1. *Canister a carbonos activos*

Un bote se llena de carbono activo, este entra en contacto con el medio ambiente en un lugar específico donde se requiere la medida de radón, este gas es capturado por el carbono activo, se deja por un determinado tiempo, se cierra el bote y se analiza por centelleo líquido. (Quindós et al; 2010: p. 14)

Este proceso puede durar de dos días a una semana, ya que si se realiza a largo plazo no cambia su resultado más de un par de tiempos de vida media. (Quindós et al; 2010: p. 14)

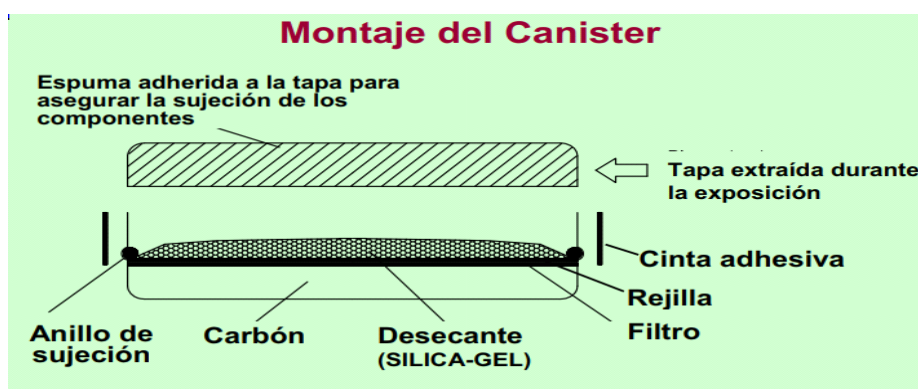


Figura 9-1: Montaje del canister para medición del radón.
Realizado por: Quindós et al; 2010.

1.10.2.2. *Cámaras a ionización a electrodos*

Están formadas por un electrodo que es estable, un disco de teflón cargado a un potencial dado, que se encuentra montada dentro de una cámara de plástico conductor. Al abrirla cámara entra el gas radón y se difunde al interior por filtración, el electrodo toma los iones producidos reduciendo la carga. Cuando termina la medición la cámara se sella, en un laboratorio el electrodo se baja y el voltaje medido, convertido en la concentración de radón. (Quindós et al; 2010: p. 15)

1.10.2.3. *Dosimetría termo luminiscente*

Se utiliza algunos cristales aislantes, estos cuando son irradiados, algunos electrones que saltan de la banda de valencia a la banda de dirección, quedan atrapados en niveles energéticos, esto se produce por la irregularidad del cristal. Se realiza produciendo energía, por ejemplo calentando, los electrones vuelven al estado fundamental con la emisión de luz. (Quindós et al; 2010: p. 16)

1.10.2.4. *Conjunto bomba/filtro*

Este proceso requiere de la toma de muestras de los descendientes del radón, para luego ser analizados, esto se realizará en un análisis continuo. (Quindós et al; 2010: p. 7)

1.10.3. *Dosimetría personal*

La dosimetría personal es una técnica para medición de dosis absorbidas y acumuladas por una persona expuesta a radiaciones ionizantes en un periodo determinado. Estos detectores se pueden transportar con mucha facilidad, como puede ser en la ropa, durante el trabajo cotidiano, o también existen equipos que sirven para medir radón en viviendas y son fáciles de usar. (Gonzáles, 2010, p. 38)

Estos equipos deben ser ligeros, baratos y una característica importante, sin pérdida de información con el tiempo. Sus nombres se dan por el efecto macroscópico que se produce por la radiación, al interaccionar con la materia que sirve de base. (Gonzáles, 2010, p. 38)

La dosimetría personal consta de varios tipos como son:

1.10.3.1. *Lectura directa*

Existen diversos dosímetros de este tipo, de bolsillo tipo lapicero y los electrónicos. El dosímetro de tipo lapicero, que se trata de una pequeña cámara de ionización del tipo integrador, de forma tubular, aproximadamente de 2 cm³, está llena de aire y posee un electrodo central. (Gonzáles, 2010, p. 52)

Este equipo tiene una lectura de exposición integrada, se puede detectar rayos X y rayos gamma de 20 KeV a MeV, tiene rangos de 0 a 200 mR a 600 R, y tiene una exactitud dentro $\pm 10\%$ de la exposición verdadera. (Gonzáles, 2010, p. 53)



Figura 10-1: Dosímetro de tipo lapicero.
Realizado por: Gonzáles, 2010.

Este tipo de dosímetros se cargan antes que entren en contacto con la radiación mediante un cargador. El equipo cuando se expone la radiación en aire de la cámara se ioniza, y los iones se transportan hacia los electrodos, lo que produce una pérdida de carga, la cual es directamente proporcional a la cantidad de radiación recibida en el aparato. (Gonzáles, 2010, p. 54)



Figura 11-1: Carga y ajuste a cero del dosímetro al colocarlo sobre el socket de carga.
Realizado por: Gonzáles, 2010.

Este equipo es muy sencillo de utilizar, se lee la exposición integrada observando a través del ocular mientras dirige la unidad hacia una fuente de luz externa. Esta exposición se determinará por la posición que guarda la fibra tipo cabello sobre una escala graduada, el cargador se coloca en la lectura del dosímetro para poder calibrar y colocar en cero el equipo. (Gonzáles, 2010, p. 56)

Este equipo está basado en la ionización gaseosa, teniendo una ventaja de lectura directa, una desventaja, que es muy sensible a golpes, ya que si recibe uno se descarga espontáneamente. (Gonzáles, 2010, p. 61)

1.10.4. Dosímetros electrónicos

Pueden ser digitales de marca Aloka, también hay otros modelos que detectan rayos X, gamma y neutrones. El intervalo en que se operan estos equipos va desde 0 hasta 99.99 mSv o 0 a 9.999 Rem. (Gonzáles, 2010, p. 62)

Poseen también una radiación con alarma audible el cual su funcionamiento se opera desde un pulso cada 15 minutos a 1 mR/h, un pulso cada 20 segundos a 100 mR/h, tiene una señal continua por arriba de 100 mR/h hasta <6000 R/h (Gonzáles, 2010, p. 63)

También existen dosímetros de radiación con alarma audible, los cuales miden rayos X y gamma, e indica continuamente la dosis acumulada. Este equipo consta de una alarma sonora de pulsos cada 15 a 30 minutos cuando la dosis recogida está por a lo alto del nivel de fondo, es más frecuentemente cuando la rapidez de dosis se incrementa, con un tono repetitivo cuando se alcanza dosis elevadas de radiación. (González, 2010, p. 64)

1.10.4.1. *Termoluminiscentes*

Son los más utilizados, las radiaciones ionizantes son capaces de atravesar algunos materiales que hacen que los electrones más exteriores de sus capas, se queden atrapados niveles intermedios de su estructura. Cuando se produce calor estos electrones atrapados vuelven a su estado fundamental produciendo luz (termoluminiscencia), que es la luz proporcional a la cantidad absorbida de radiación. (González, 2010, p. 40)

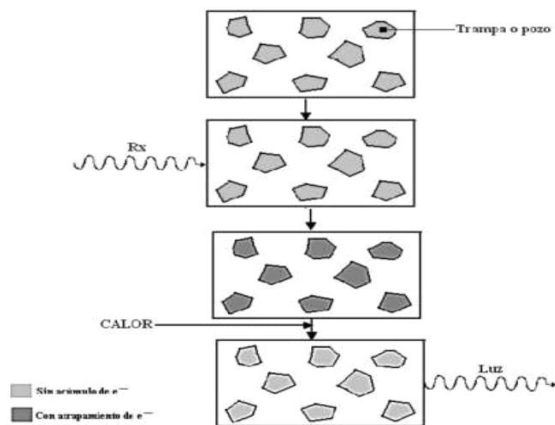


Figura 12-1: “trampa o pozo” de un cristal del dosímetro de termoluminiscencia. Fenómeno general.

Realizado por: González, 2010.

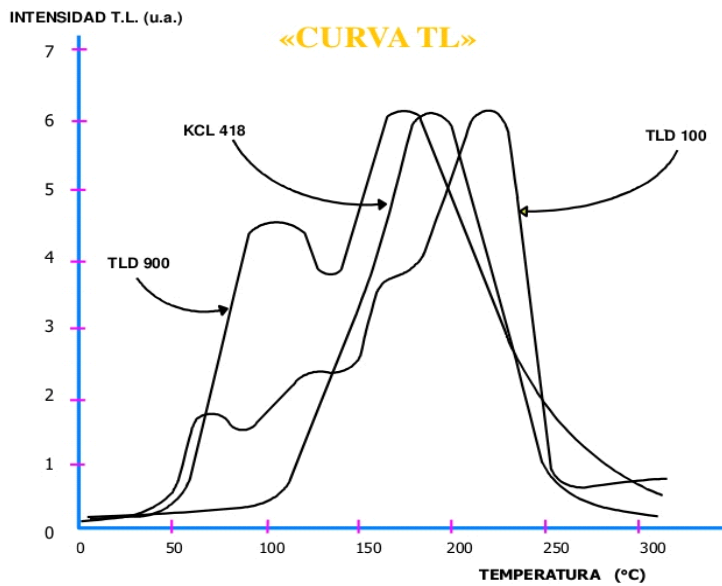


Gráfico 3-1: Curva termoluminiscente. Intensidad vs. Temperatura.
Realizado por: Gonzáles, 2010.

Existen elementos termoluminiscentes como: Fluoruro de litio, borato de litio, fluoruro de calcio, sulfato de calcio.

Tiene ventajas como:

- Umbral de medida inferior de 10 MGy, límite superior puede sobrepasar 10 Gy.
- Puede medir neutrones
- No dependen tanto del medio ambiente
- Son fáciles para manejar
- Tienen una lectura fácil (Gonzáles, 2010, p. 44)

Sus desventajas son:

- El costo es muy elevado
- Hay que proteger este equipo de calor y luz UV
- El rango de pérdida de información es de 1 a 2%
- Y su lectura es irrepetible. (Gonzáles, 2010, p. 45)

1.10.4.2. Película (fotográficos)

En este proceso se necesita películas fotográficas, las radiaciones ionizantes ennegrecen estas películas, como es común en una radiografía, se utiliza un receptáculo con una película en su interior y opaco a la luz. El nivel de ennegrecimiento de la película se debe a la dosis adquirida. (Gonzáles, 2010, p. 48)

Estas dosis se pueden analizar por medio de una comparación con películas normalizadas y también con un fotodensitómetro. (Gonzáles, 2010, p. 49)

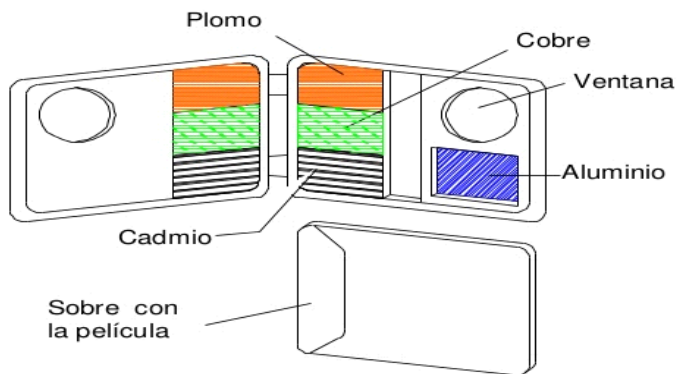


Figura 13-1: Partes de un dosímetro de películas.

Realizado por: Gonzáles, 2010.

Estas películas fotográficas tienen la forma de una placa que es susceptible de impresión por la radiación. Posee varios filtros de aluminio, cobre y plomo, montados de forma escalonada. (Gonzáles, 2010, p. 50)

Esta dosimetría tiene ventajas como:

- Es muy sencillo su manejo
- Es relativamente de bajo costo
- Y se obtiene un archivo permanente. (Gonzáles, 2010, p. 51)

Sus desventajas son:

- Su lectura no es inmediata
- Tiene una lectura estimativa
- No es reutilizable
- Puede ser afectado por el calor y la humedad. (Gonzáles, 2010, p. 51)

1.11. Defensas contra el gas radón

Si son altos los niveles de radón en una vivienda, que según la EPA el límite es de 150 Bq/m^3 , es urgente que se tomen medidas de reducción. Las vías en las que puede entrar el radón a

ambientes interiores son el agua, materiales de construcción y el suelo que se ubica debajo o alrededor de la vivienda. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 979)

1.11.1. Agua

El radón usa al agua como medio de transporte para entrar a los hogares, es necesario reducir si los niveles de radón son altos, esto se puede realizar con carbón activo granulado, luego se puede trasladar en forma de gas por gorgoteo, o también se puede decaer almacenando en un contenedor que sea hermético, pero el único problema es que se necesita grandes cisternas o tinas desde 10 m³. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 981)

Cuando se absorbe radón con carbón activo tiene el 99% de eficiencia para y también es muy económico para las necesidades de un hogar. Pero es necesario tener mucho cuidado con las emisiones de radiación γ que emite el filtro, mientras que el ²¹⁰Pb que está presente en los filtros exhaustos, pero es un problema menor, dada la actividad que existe en el suelo, la vida de esos filtros es de varios años. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 981)

1.11.2. Materiales de construcción

Se puede reducir la cantidad de radón en ambientes interiores usando materiales de construcción que tengan bajo contenido de ²²⁶Ra, ya que el objetivo es encontrar materiales que no incrementen la radiactividad que existe en los interiores por causa del radón. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 982)

Si los niveles de radio son bajas en los materiales de construcción, entonces la tasa de exhalación de radón es también menor, pero para tener la seguridad de que cantidad de tasa de exhalación existe en el ambiente interior se debe realizar análisis de los materiales de construcción. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 982)

Se puede calcular el coeficiente de emanación, el cual se calcula con la tasa de emanación del material final, determinando la media de varios componentes, pero esto ocasiona varios errores. El coeficiente de cenizas es otro método que si nos da un valor bajo el contenido de radio es alto, y por lo tanto una creciente concentración de radón del cemento con la ceniza, habrá en los ambientes interiores, esto en algunos casos, en otros el flujo no cambia o puede reducirse. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 983)

Estas irregularidades se deben a diferencias en la concentración del radio o también por la porosidad, estructura superficial y el contenido de cenizas. La añadidura de las cenizas cambia

la estructura del cemento, el largo de difusión o el coeficiente de emanación que se pueden reducir. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 983)

Para conocer las tasa de exhalación del radón, el mejor método es la medición, ya que el contenido de tasa de exhalación puede variar con la humedad, las mediciones se deben realizar sobre materiales maduros. Se pueden usar cubos del material para valorar la tasa de exhalación, estos son capaces de proveer un valor máximo de la emisión e integrar con la base de datos existente para los coeficientes de difusión. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 983)

1.11.3. Suelo

Un punto importante es comprobar si el radón proviene del suelo o de los materiales de construcción, para esto se realiza métodos de reducción que se dividen en cuatro categorías:

- El primer método es eliminar las fuentes, esta práctica se realiza cuando estas fuentes han sido introducidas por actividad del hombre.
- El segundo método es sellar las vías de entrada del gas radón.
- El tercer método es aumentar la eliminación del radón de la vivienda aumentando la tasa de ventilación.
- El cuarto método se trata de reducir el flujo reduciendo el diferencial de presión entre la vivienda y el suelo. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 984)

1.12. Eliminación de las fuentes

Todos los métodos para la eliminación de las fuentes de radón, son relativamente caros dependiendo del proceso, cuando se desea eliminar esta problemática que se encuentra debajo del suelo, se realiza una remoción del suelo, que es un método costoso y destructivo, si los fundamentos se encuentran sobre el material activo, se debe sustentar la vivienda entera, y si la fuente radón es un depósito de radio, se debe transportar el material recogido en un deposito apto. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 985)

Por causa del costo alto no se adquiere materiales seguros para el hogar y también la eliminación de manantiales que se realiza con métodos de exclusión del gas. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 985)

1.12.1. Sellamiento

En estudios ya realizados se ha determinado que el cemento es impermeable para los gases del suelo, se ha convertido en un método necesario para sellar estructuras, todas las grietas que existen pueden ser selladas por un revestimiento multicapa de resina epóxica, este método es el último recurso cuando los vapores tóxicos emitidos durante la aplicación y también por los altos costos. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 989)

Estos métodos son necesarios para cerrar todas las vías de entrada del radón al hogar, esta reducción es de un factor cinco. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 989)

1.12.2. Revestimiento de paredes

El revestimiento de las paredes se puede realizar con plásticos como es la poliamida, el polivinil cloruro (PVC), polietileno o también el barniz al óleo, esto permite reducir diez veces la emisión de radón, así el tapiz puede reducir cerca del 30%. (Radiana, 2012, p.1)

Después de realizar este método se debe verificar que los niveles hayan bajado, si no es así se debe también hacer en el subsuelo o en sótanos, después de unos años también es recomendable la medición para asegurarse que sigan bajas las concentraciones de radón. (Radiana, 2012, p.1)

1.12.3. Tapizado de paredes

Hay que escoger un papel tapiz que sea adecuado, como primer paso escoger el material que se desee, para adquirir este material se debe leer las instrucciones del fabricante para su implementación y limpieza del papel. (Jonassen, 1985, p. 73)

Tabla 1-1: Características del papel tapiz.

MATERIAL	DESCRIPCIÓN	LIMPIEZA	COLOCACIÓN	INFORMACIÓN ADICIONAL
Texturizado	Papel texturizado sobre el que se puede pintar	Fácil	Fácil	Tapa imperfecciones de las paredes
Con base de tela	Papel hecho a base de fibras textiles	Difícil	Difícil	Requiere un adhesivo transparente especial
Aterciopelado	Papel con dibujos en relieve y textura aterciopelada, con base de papel o de vinilo	Media	Difícil	No todas las clases son fáciles de pegar y limpiar
II Metalizado	Papel tapiz de apariencia metálica	Fácil	Difícil	Como reflejan la luz, dan brillo a la habitación, pero solo sirven para paredes sin imperfecciones.
De cáñamo y yute	Hecho de largas fibras vegetales entretejidas	Difícil	Difícil	Debe usarse un adhesivo transparente para evitar que manche. Es difícil de quitar.
De vinilo	Casi todos los papeles de pared son de vinilo	Fácil	fácil	Es fácil de quitar.

Fuente: Jonassen, 1985. (Fourcade, P. Francia, octubre, 1984)

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

1.12.4. Ventilación

Este método es uno de los más sencillos, que solo tiene una dificultad, la tasa de las viviendas modernas es de 25 a 50 l/s. por lo tanto para reducir los niveles de un factor 3 es necesario un flujo de aire de 75 a 150 l/s, esto quiere decir que se solicita una potencia de 7Kw de la calefacción y 3kW por el aire acondicionado. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 990)

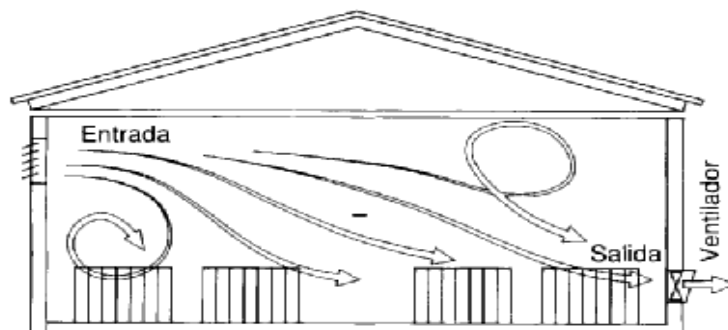


Figura 14-1: Vivienda ventilada o aireada.

Realizado por: Nazaroff; Nero; 1988

Se puede alcanzar una disponibilidad del equipo de 100 l/s, pero puede ocasionar efectos la ventilación o aireación que son difíciles de prever:

- La ventilación forzada reduce el flujo natural de aire hacia la vivienda;
- La presión diferencial entre la casa y el terreno es aumentada;
- El ruido de los ventiladores puede ser insoportable;
- En áreas que son frías la presurización de la vivienda aumenta la penetración de la humedad en los muros;
- En la casa antiguas es difícil instalar sistemas de ventilación. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 990)

Por grietas que existen en las casas entra el radón, y a menudo es necesario airearla o aislarla de la casa, en las casas modernas existe ventilación que reduce los niveles de radón aumentando la presión interior. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 990)

1.12.4.1. *Ventilación del suelo*

Este método va a permitir que se reduzca el flujo del suelo, lo cual reduce la presión diferencial entre la vivienda y el terreno, disminuyendo la concentración de radón que se encuentra debajo de la vivienda. Este sistema consiste en una parrilla de tubos que se entierran debajo y alrededor de la vivienda, manteniendo una presión negativa con respecto a un ventilador o una chimenea ventilada. (Nazaroff y Nero, 1988: p. 991)

Para las casas modernas hace falta:

- Edificar los fundamentos con coladas de cemento sellando las conjugaciones y las entradas de los servicios;
- Construir un subsuelo aireado;
- Construir de manera convencional aireando el suelo.

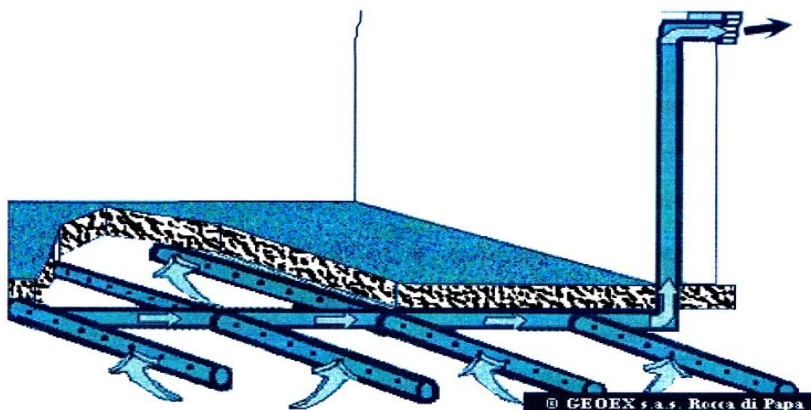


Figura 15-1: Sistema de tubos que permiten reducir la presión diferencial del radón, capturándolo antes que entre en las habitaciones.

Realizado por: Nazaroff; Nero; 1988

1.13. Eliminación del radón y de sus descendientes del aire interior.

La solución para excluir el gas radón, es eliminando sus descendientes o también el gas en ambientes interiores, esto se puede lograr por técnicas mecánicas o electrostáticas. (Jonassen, 1985, p. 86)

1.13.1. Filtración

Este método consiste en filtrar el aire, esto permite que las partículas radiactivas o no radiactivas se reduzcan en dosis de 46 a 78%. (Jonassen, 1985, p. 86)

1.13.2. Mezcla mecánica

Este método consiste en agitar el aire con un ventilador, aumentando la velocidad de deposición.

1.13.3. Método del campo electrónico

Este método se utiliza en presencia del ^{218}Po , se forma con una carga positiva y puede neutralizarse o pegarse, si entra en contacto, con partículas de un aerosol formando polonio con carga negativa, esta consideración también es válida para los demás descendientes del radón. (Jonassen, 1985, p. 86)

En la mayoría de casos los átomos son ionizados positivamente, que al aplicar un fuerte potencial eléctrico negativo, del orden del Kv, se puede reducir los niveles de los descendientes

del radón, Jonassen ha ilustrado como con hilos con una tensión de 5 Kv es posible bajar los niveles un 50%. (Jonassen, 1985, p. 86)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Delimitación del universo de investigación.

Esta investigación se realizó en la Parroquia “Victoria del Portete” perteneciente al Cantón Cuenca, Provincia del Azuay.

Esta Parroquia se constituye de 1285 viviendas, se encuentra ubicada en la parte sur-occidental de Cantón Cuenca, tiene una extensión de 206.0 Km², su altura es de 2500 msnm. Localizado a una distancia de 23 Km desde la ciudad de Cuenca; conectada por la vía antigua Cuenca-Girón-Pasaje. Se localiza en las siguientes coordenadas 79° 03' 42'' longitud w y 3° 03' 36'' latitud sur.

Limitada al norte con la Parroquia Tarqui, al sur con el Cantón Girón, al este con la Parroquia Cumbe, al Oeste con la Parroquia Baños.

Se realizó el tamaño de la muestra con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{N \varepsilon^2 + Z^2 * p * q} = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 1285}{(1285 * 0.18^2) + (1.96^2 * 0.5 * 0.5)} = 28.973, \text{ se tomó la muestra de 30 viviendas.}$$

En donde:

n= es el tamaño de la muestra para poblaciones finitas.

N= población (1285 viviendas)

Z = nivel de confianza, (1.96)

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada (0.5)

q = probabilidad de fracaso (0.5)

ε = 18% error máximo de estimación.

α = 5%; confianza de 95%

2.2. Diseño del experimento.

Tabla 1-2: Tipos de viviendas y técnicas de remediación ejecutadas.

1. Materiales de construcción	Adobe (A) Madera (M) Bloque (B) Ladrillo (L) Mixtas (X)	2. Técnicas de remediación	- Aireación (V) - Tapizado (T)
--------------------------------------	---	-----------------------------------	-----------------------------------

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

Unidad experimental.

Se seleccionó la muestra de 30 viviendas, equivalente a 2.33% de la población. Se realizaron tres mediciones en cada vivienda. De las tres mediciones se tomó la que tuvo más alto nivel de radón para su remediación, escogiendo por medio de un tipo de muestreo probabilístico estratificado al azar.

2.3. Mediciones

6 viviendas por cada material de construcción:

- 6 viviendas de adobe
- 6 viviendas de madera
- 6 viviendas de bloque
- 6 viviendas de ladrillo
- 6 viviendas mixtas

Tabla 2-2: Ficha para la recolección de datos de tres habitaciones de las diferentes viviendas.

Viviendas	Primera medición en Bq/m ³	Segunda medición en Bq/m ³	Tercera medición en Bq/m ³
A1			
A2			
A3			
A4			
A5			
A6			
M1			
M2			
M3			
M4			
M5			
M6			
B1			
B2			
B3			
B4			
B5			
B6			
L1			
L2			
L3			
L4			
L5			
L6			
X1			
X2			
X3			
X4			
X5			
X6			

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

Tabla 3-2: Viviendas en las que se realizó el tratamiento de remediación.

Mat.	Remed.	Mat.	Remed.	Mat.	Remed.	Mat.	Remed.	Mat.	Remed.
A1	V	B1	T	L1	V	M1	T	X1	V
A2	V	B2	T	L2	V	M2	T	X2	V
A3	V	B3	T	L3	V	M3	T	X3	V
A4	T	B4	V	L4	T	M4	V	X4	T
A5	T	B5	V	L5	T	M5	V	X5	T
A6	T	B6	V	L6	T	M6	V	X6	T

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

Mediante una selección al azar de las viviendas se dará un tratamiento de aireación o de tapizado considerando el tamaño de muestra para cada tratamiento (3-3) respectivamente.

2.4. Requisitos para las unidades experimentales.

Construcciones de adobe, bloque, madera, ladrillo y mixtas de uno o dos pisos de altura.

Dormitorios en el nivel habitable más bajo

- Un área promedio de $25\text{m}^2 \pm 2$
- Una área de ventana de $3\text{m} \pm 1$
- El tipo de piso puede ser de cualquier tipo.
- Tumbado de losa
- Y el equipo de medición debe estar alejado de electrodomésticos.

Habitaciones con ventanas y puertas exteriores cerradas la mayor parte del tiempo de medición (excepto en la técnica de aireación donde la prueba lo amerita).

2.5. Esquema del experimento

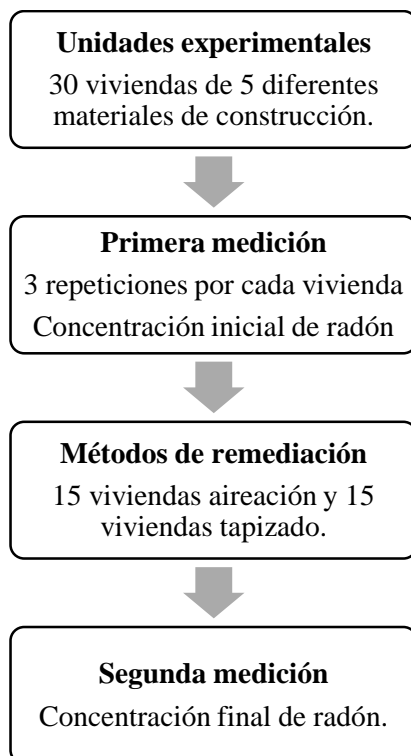


Gráfico 1-2: Esquema de la realización del proyecto.

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin; 2018

2.6. Materiales y Equipos

A continuación se describe los materiales y equipos utilizados en el trabajo de investigación.

2.6.1. *Medidor de radón Corentium Home*

Equipo sofisticado para la medición de los niveles del gas radón en el interior de las viviendas que tiene un rango de 0 hasta 9999 Bq/m³.

2.6.2. *Papel Tapiz vinílico*

Este tipo de papel tapiz esta hecho de papel y vinilo, lo que hace su superficie muy lavable e ideal para habitaciones, cocinas, baños, escaleras y lugares de mucho circulación.

2.6.3. *Yeso*

También llamado sulfato de cal hidratado, este material se utilizó para cerrar grietas o aberturas que se encuentren en las habitaciones, calcinado, molido y amasado con agua se puede conseguir que se endurezca rápidamente.

2.7. Métodos y Técnicas

2.7.1. *Métodos*

Los métodos que se utilizan en el desarrollo de la investigación son científicos, analíticos y estadísticos.

2.7.1.1. *Método científico*

Tipos de remediación (aeración y tapizado), que se realizaron para disminuir los niveles de radón en las viviendas.

2.7.1.2. *Método analítico*

Recolección de datos, que proporcionó el medidor de radón Corentium Home.

2.7.1.3. *Método estadístico*

Se realizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA).

El análisis de datos se realizó con ANOVA de dos factores, con prueba *post hoc* de Tukey-b al 95% de confianza.

Se empleó el software estadístico SPSS versión 16.

2.8. Técnicas de investigación.

2.8.1. *Observación directa de campo*

Se trató en viviendas que sean aptas para la investigación, también se seleccionaron habitaciones que tengan características idóneas para su determinada remediación, en las cuales se colocó los equipos.

2.8.2. *Técnicas de reducción de radón*

Fueron dos las técnicas de remediación que se aplicaron en los dormitorios muestreados de los diferentes materiales de construcción.

2.8.2.1. *Aireación*

Para esta técnica se les sugirió a las personas que viven en esas viviendas que mantengan abiertas ventanas y puertas, para que esta remediación resulte eficaz. Al momento de abrir solo ventanas de un lado o de un piso superior de la vivienda se contribuye a atraer una mayor cantidad de radón.

2.8.2.2. *Tapizado*

Se seleccionó el papel tapiz vinílico para dormitorios que tuvieron niveles altos de radón, el mismo que fue colocado por personal especializado. Se dejó transcurrir un tiempo determinado antes de realizar las segundas mediciones en la vivienda.

2.8.3. *Utilización del medidor de radón Corentium Home*

El medidor de radón se suministra con un orificio que se encuentra en la parte posterior, EPA recomienda que no se fije el equipo a las paredes, puesto que puede alterar los niveles de radón existentes.

El equipo se debe colocar de manera que la pantalla quede mirando hacia arriba.

El medidor de radón se debe posesionar en los dormitorios que entren en contacto con el suelo.

Se colocó a 25cm de la pared más cercana, a 50cm del suelo y a 150cm de los puntos de ventilación o también de electrodomésticos.

Este aparato es muy inteligente por lo que cuando se inserta las pilas se calibra y comienza la medición después de una hora, un punto que parpadea en la parte superior derecha de la pantalla del equipo es el indicador de medida que nos muestra que la medición ha empezado.

Si el equipo marca el mensaje de “9999Bq/m³” indica que el contador de radón ha alcanzado su valor máximo, es decir que se trata de un nivel de radón muy elevado en el ambiente. Si indica el mensaje de “ERR###”, es preciso cambiar las pilas.

2.8.4. *Trabajo de campo*

Se seleccionaron viviendas que tengan diferentes materiales de construcción, adobe, madera, bloque, ladrillo y mixtas. Se colocaron los equipos de medición de radón en los dormitorios de las distintas viviendas.

CAPITULO III

3. MARCO, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Discusión y Análisis de resultados.

Tabla 1-3: Ficha de datos de las tres repeticiones de las diferentes viviendas de la Parroquia “Victoria del Portete” que se realizó la medición de radón.

Viviendas	Primera medición en Bq/m ³	Segunda medición en Bq/m ³	Tercera medición en Bq/m ³
A1	750	762	768
A2	786	779	772
A3	774	768	771
A4	769	770	773
A5	778	790	786
A6	711	716	709
M1	414	419	407
M2	401	398	383
M3	496	505	488
M4	453	449	449
M5	463	478	474
M6	467	446	461
B1	686	675	698
B2	689	691	683
B3	693	668	690
B4	719	707	711
B5	657	668	653
B6	665	671	669
L1	515	516	524
L2	599	586	598
L3	535	532	527
L4	516	527	524
L5	595	592	598
L6	537	533	529
X1	412	497	483
X2	426	423	419
X3	484	486	475
X4	438	441	446
X5	443	447	445
X6	439	442	435
Promedio en Bq/m ³			578.22

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

Tabla 2-3: Concentración de radón en viviendas de diferentes materiales de construcción.

Material	Concentración media de radón (Bq/m ³)
Adobe	762.89 d
Madera	447.28 a
Bloque	682.94 c
Ladrillo	549.06 b
Mixta	448.94 a
ANOVA	***

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

***: Significativo a $P < 0.001$

Los valores seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo al test de Tukey-b a $P < 0.05$

En la tabla 2-3 se muestra que la concentración media de radón depende del tipo material de construcción. La concentración en las construcciones mixtas y madera no presentan diferencias significativas perteneciendo ambas al grupo más bajo, las construcciones de adobe, bloque y ladrillo presentan las concentraciones más elevadas.

Estos materiales de construcción debido a que la materia prima para su fabricación proviene del suelo contaminado tienen altas concentraciones de este gas. Resultados similares fueron obtenidos por Jarrín, 2001 en un estudio sobre medición de radón en el conjunto arquitectónico de Guápulo. (Jarrín, 2001, p. 43)

La Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEa) hizo un estudio donde concluyó que en la Parroquia “Victoria del Portete”, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay, hay reservas consideradas "con favorabilidad uranífera" y se registraron altas concentraciones de radón.

Tabla 3-3: Disminución de las concentraciones más altas de radón de cada tipo de vivienda.

Unidad Experimental	Concentración inicial en Bq/m³	Concentración final en Bq/m³
A1V	768	124
A2V	786	127
A3V	774	131
A4T	773	112
A5T	790	108
A6T	716	104
M1V	419	67
M2V	401	65
M3V	505	81
M4T	453	63
M5T	478	65
M6T	467	68
B1V	698	112
B2V	691	115
B3V	693	108
B4T	719	104
B5T	668	98
B6T	671	107
L1V	524	84
L2V	599	96
L3V	535	86
L4T	527	78
L5T	598	83
L6T	537	78
X1V	497	80
X2V	426	69
X3V	486	78
X4T	446	72
X5T	447	65
X6T	442	74

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

Tabla 4-3: Disminución de la concentración de radón con respecto a las variables independientes.

Variables	ANOVA
Material de construcción	NS
Remediación	***
Material de construcción por Remediación	NS

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

NS: No es significativo a $P > 0.001$

***: Significativo a $P < 0.001$

En la tabla 4-3 se muestra que la disminución de la concentración de radón depende de las técnicas de remediación, sin importar el tipo de material de construcción de la vivienda.

La disminución de la concentración de radón depende de las técnicas de remediación, pero estas técnicas pueden reducir los niveles del gas, con el mismo porcentaje, sin importar el tipo de material de construcción de la vivienda.

Según la OMS los sistemas pasivos de mitigación puede reducir las concentraciones de radón hasta más de un 50%, cuando a estos sistemas se une la aireación puede bajar un porcentaje aún más alto. (OMS, 2016, p. 1)

Tabla 5-3: Porcentaje de disminución de la concentración de radón.

Material de construcción	Métodos de remediación en porcentaje	
	Aireación	Tapizado
Adobe	83.59	85.77
Madera	83.92	85.98
Bloque	83.91	84.97
Ladrillo	83.96	85.60
Mixtas	83.89	84.19
Promedio de disminución	83.85	85.30

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

En la tabla 5-3 se muestra que el tapizado presenta mayor disminución de concentración de radón, mientras que la aireación muestra un porcentaje menor.

En la propuesta de reducción de los niveles de radón en construcciones de cemento armado de la ciudad de Ambato tuvo como porcentaje un 84.02% en aireación, mientras que en tapizado tuvo un 89.61%, corroborando que el método de remediación más efectivo entre estos dos es el tapizado, para disminuir las concentraciones de radón en viviendas. (Ramos. 2008, p.102)

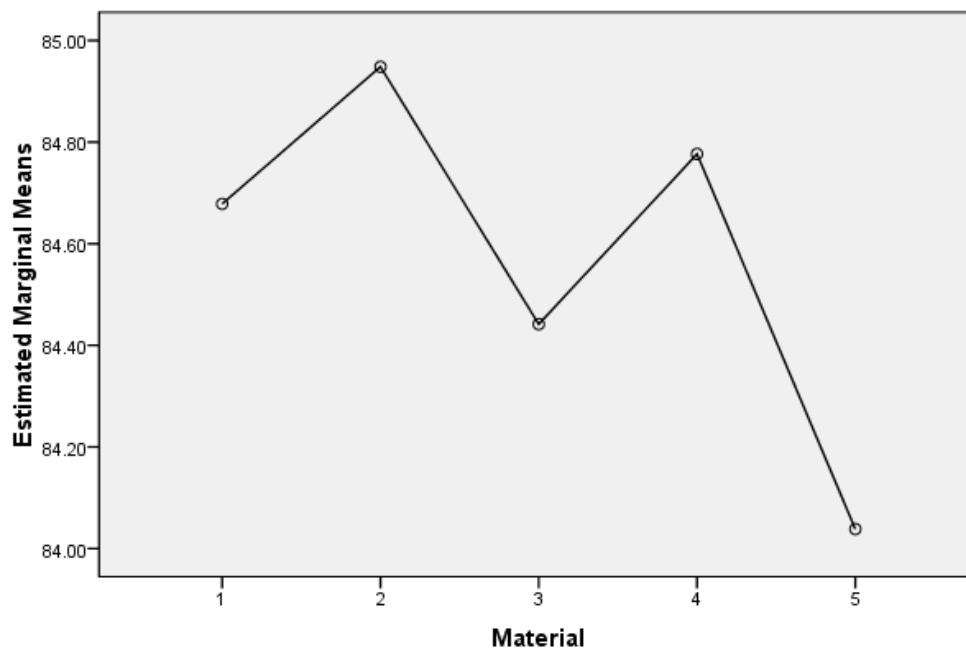


Gráfico 1-3: Porcentaje de disminución de radón según el tipo de material de construcción de viviendas.

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

- 1: Adobe
- 2: Madera
- 3: Bloque
- 4: Ladrillo
- 5: Mixtas

En el grafico 1-3 se puede observar que el material de construcción madera tiene el más alto porcentaje de disminución de la concentración de radón dentro de la vivienda, por lo referido en la tabla 2-3, la madera es capaz de permitir una aireación por su porosidad y fibras longitudinales en su estructura. (Jarrín, 2001, p. 43)

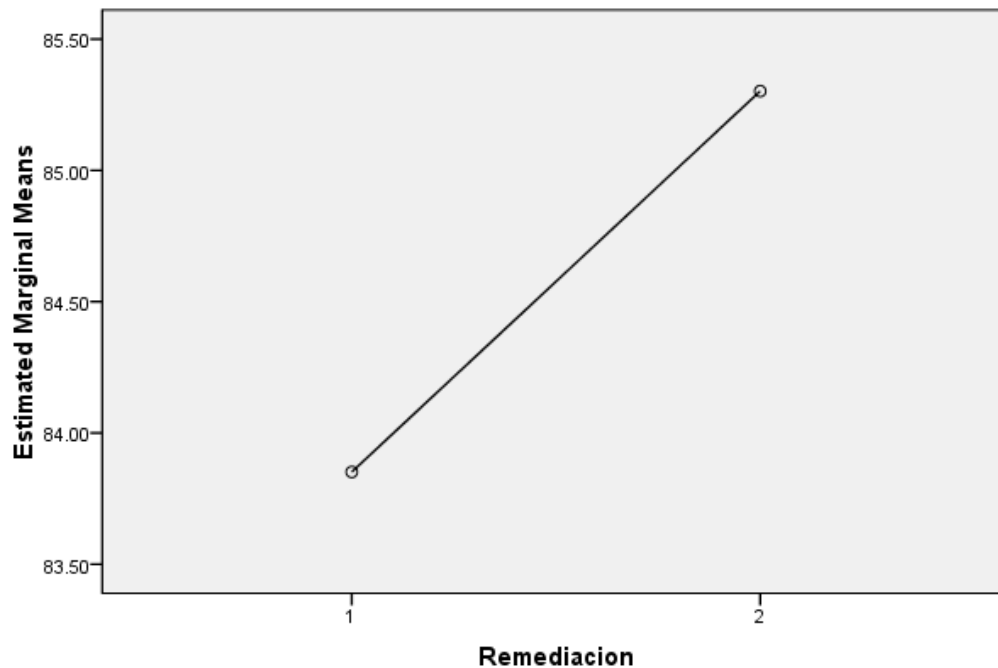


Gráfico 2-3: Porcentaje de disminución de radón según las técnicas de remediación de viviendas.

Realizado por: César Arteaga; Carlos Lliguin, 2018

1: Aireación

2: Tapizado

En el gráfico 2-3 se puede observar que la técnica de remediación más recomendable para la disminución de radón, es el tapizado, por poseer un porcentaje mayor al disminuir el radón en viviendas de la Parroquia.

En la tabla 5-3 se puede verificar que el que el tapizado tiene un porcentaje mayor sobre la aireación, al igual de los resultados del proyecto propuesta de reducción de los niveles de radón en construcciones de cemento armado de la ciudad de Ambato, que se obtuvo deducciones similares al de este proyecto. (Ramos. 2008, p.102)

3.1.1. Dosis anual absorbida

$$D_{Rn} = C_{Rn} \cdot D \cdot H \cdot F \cdot T$$

Dónde:

- C_{Rn} = Concentración de Radón [Bq/m^3]
- D = factor de conversión de la dosis (9×10^{-6}) [$m.Sv.m^3/h.Bq$]
- H = Factor de corrección (0.40)
- F = Factor de equilibrio (0.40)
- T = Tiempo de ocupancia (24×365) (h/a)

$$D_{Rn} = 90.07 Bq/m^3 \cdot (9 \times 10^{-6} m.Sv.m^3/h.Bq) (0.40) (0.40) (24 \times 365)$$

$$D_{Rn} = 1.14 \frac{mSv}{a}$$

Según la EPA, 2017 el límite permisible para la dosis anual absorbida es de 1.2 mSv/a en viviendas, en este estudio se ha logrado disminuir, más del 80%, las concentraciones de radón con las dos técnicas de remediación como en el caso del proyecto propuesta de reducción de los niveles de radón en construcciones de cemento armado de la ciudad de Ambato (Ramos. 2008, p.102), dando un valor de 1.14 mSv/a, lo que indica que esta debajo de los límites permisibles según la EPA.

3.2. Conclusiones

- El material de construcción adobe es el que contiene los niveles más altos de radón, por la razón que en esas viviendas están en contacto directamente con el suelo, los materiales de bloque y ladrillo también tienen un nivel alto de radón, pero en el caso de las viviendas mixtas y de madera, tiene un contenido bajo a comparación de los demás materiales de construcción, ya que la madera tiene porosidad y fibras longitudinales en su estructura, lo que permite que exista una ventilación en el hogar y las viviendas mixtas de la Parroquia están construidas por ladrillo pero su mayor parte es de madera.
- Las técnicas de remediación que se realizaron en este proyecto dieron como resultado niveles bajos de concentración de radón según el límite permisible de la EPA, disminuyendo un 83.85% con la aireación y un 85.30% con el tapizado, las dos técnicas son capaces de disminuir los niveles de radón por debajo de los límites que permite la EPA.
- La dosis anual absorbida por los residentes de las viviendas de la Parroquia “Victoria del Portete” después de las técnicas de remediación es de 1.14 mSv/γ, este valor se encuentra por debajo de los límites de 1.2 mSv/γ que permite la EPA.

3.3.Recomendaciones

- ◆ A las personas que viven en la Parroquia se les debe explicar sobre los efectos del radón y sus descendientes en la salud humana para tener acceso a sus habitaciones.
- ◆ La medición se debe realizar en habitaciones en la planta baja o segundo piso, que posean ventanas y puertas para la remediación.
- ◆ Los equipos no deben estar por largos lapsos de tiempo expuestos al sol ni a la humedad, por la razón que se pueden averiar.
- ◆ En las técnicas de remediación se debe realizar un tratamiento previo de las habitaciones como el sellado de grietas, aberturas en las paredes y suelo con yeso, especialmente con el tapizado.
- ◆ Después de las técnicas de remediación realizar tres mediciones para verificar la disminución de radón en la habitación.
- ◆ Según la disponibilidad de recursos económicos se puede recomendar a las personas del sector que incluyan la aireación en su vida diaria para disminuir estos niveles altos de radón.

GLOSARIO

Término	Definición
^{222}Rn	Isótopo más abundante del radón, con masa media 222, lo que tiene por término medio $222-86=136$ neutrones y en estado neutro tiene el mismo número de electrones que de protones que es 86.
Adobe	Es un material de construcción para viviendas, es un ladrillo sin cocer, hecha de masa de barro, mezclado con paja moldeada en forma de ladrillo y secada al sol.
Aireación	Es la renovación continua de aire contaminado dentro de una vivienda, lo principal es crear un clima saludable en los interiores del lugar.
Becquerel	Símbolo Bq, es una unidad que mide la cantidad de material radiactivo con decaimiento de un núcleo por segundo. Equivale a una desintegración nuclear por segundo.
Bloque	Es un mampuesto prefabricado, formado por hormigones finos o morteros de cemento, se utiliza para construcción de muros y paredes. Tiene una figura hueca y forma prismática con dimensiones normalizadas.
CSN	Consejo de Seguridad Nuclear, es una institución española independiente, que tiene como fin primordial velar por la seguridad nuclear y la protección radiológica de las personas y del medio ambiente.
EPA	Agencia de Protección Ambiental, es una agencia del gobierno de los Estados Unidos que se encarga de protección de la salud

	humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo.
Ladrillo	Es un material de construcción, es una pieza de arcilla cocida, con forma de prisma rectangular, se usa en la construcción en general.
Madera	Es un polímero natural de origen orgánico, se obtiene del interior del tronco de los árboles, tiene distinta elasticidad según la dirección de deformación, sirve para construcción de viviendas.
Mixtas	Viviendas construidas de material de madera y cemento armado.
mSv/γ	miliSievert por año, cantidad de radiación recibida en un año por una persona cualquiera.
Remediación	Significa dar remedio a una contaminación o contaminantes del medio ambiente para la protección general de la salud humana y del ambiente, o de tierras provistas para el redesarrollo.
Tapizado	Es la aplicación de recubrir con tela u otro material, paredes, pisos o cualquier objeto dentro de una vivienda.

BIBLIOGRAFÍA

BARNES, J. *Major lawn watering rates for esthetics and conservation*. Water Works Assoc. 1979. pp. 71-204.

BERENGUER, Subils. *NTP 440: Radón en ambientes interiores* [en línea]. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1999 [consulta: 05 de marzo 2018]. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_440.pdf.

CÁRDENAS E. Propuesta para reducir los niveles de radón en construcciones de viviendas de la Parroquia “Portete de Tarqui”, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay (Tesis) (Doctorado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2010. p. 93. [Consulta: 14 de junio de 2018].

CARPIO, G. Detección de las concentraciones de radio-226 y exhalación de radón-222 en algunos materiales de construcción de la ciudad de Cuenca, Ecuador (Tesis) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca –Ecuador. 2016. p. 37. [Consulta: 13 de junio de 2018].

CARR, Zhanat; et al. *Manual de la OMS sobre el radón en interiores. Una perspectiva de salud pública*. Ginebra-Suiza. Organización Mundial de la Salud. 2015, pp. 7-16

CASTILLO, B. Cálculo del riesgo radiológico debido a la concentración de radón en los centros de educación inicial de la zona urbana y rural de Cuenca, Ecuador (Tesis) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca-Ecuador. 2016. p. 37. [Consulta: 12 de junio de 2018].

CORENTIUM AS. *Medidor de gas radón Corentium Home* [en línea]. Oslo-Noruega: Radiansa Consulting S.L., 2017. [Consulta: 20 de marzo 2018]. Disponible en: <http://tienda.radiansa.com/WebRoot/StorePiensa/Shops/eb4936/51A7/73E8/8803/A8B8/2683/AC10/1417/898A/Corentium-manual-usuario.pdf>

EPA (Agencia de Protección Ambiental). *Fundamentos y técnicas de construcción resistentes al radón* [en línea]. Estados Unidos: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2017 [consulta: 16 de marzo 2018]. Disponible en: <https://www.epa.gov/radon/radon-resistant-construction-basics-and-techniques#rrct>

FAJARDO, Marco. *Estudio de la presencia de gas radón y radiometría gamma superficial.* N°1 (1998), (Ecuador) pp. 1-9

FERRER, G. *El radón: Tratamiento jurídico de un enemigo invisible.* Alicante: Club Universitario de Alicante. 2009. p.14.

FRUTOS, B; & OLAYA, M. *Protección frente a la inmisión de gas radón en edificios.* Madrid-España: CSN (Consejo de Seguridad Nuclear); Pedro Justo Dorado Dellmans, 2010 pp. 13-15

GARCÍA, J. *Incidencia de cáncer de pulmón en el área sanitaria de Santiago de Compostela: características clínicas, anatomopatológicas y factores pronósticos.* Santiago de Compostela-España: Universidad de Santiago de Compostela, 2008, p.17

GARZÓN, L. *Radiactividad y medio ambiente.* Oviedo-España: Universidad de Oviedo, 1979. pp. 61, 83, 84.

GARZÓN, L. *Radón y sus riesgos.* Oviedo-España: Universidad de Oviedo, 1992. pp. 17-18

GONZÁLES, Juan. *Detectores de radiación* [en línea]. Ciudad de México: IMSS, 2010. [Consulta: 19 de marzo 2018]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/juangonzalezleija/dosimetra-radiaciones-jgl>

GUTIÉRREZ, José; et al. *Intercomparación de monitores de gas radón en condiciones de campo.* Saelices el chico-España. Universidad de Cantabria. 2016, pp.7-8

HESS, C. *Variations of airborne and waterborne Rn-222 en houses en Maine.* 1982. pp. 8, 59, 198.

JAMINSKA; et al. *Correlation between soil parameters and natural radioactivity.* Nueva Delhi-República de la India: Natural Radiation Environment. 1982. p. 206

JARRÍN, A. *Medición de radón en el conjunto arquitectónico de Guápulo (Tesis) (Ingeniería).* Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniera Ambiental. [Pdf]. Quito-Ecuador. 2001. p. 43. [Consulta: 31 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2302>

JONASSEN, N. *Electrical properties of radon daughters.* Toronto-Canada: Stocker, H. Canadian Nuclear Association. 1985. pp.73,86

MEGUMI, K; & MAMURO, T. *Emanation and exhalation of radon and thoron gases from soil particles.* Springfield-Estados Unidos: J. Geophys. Res. 1974. p. 79

NAZAROFF, W. W.; & NERO, A.V. Jr. *Radon and its decay products in indoor air*. Tabatabai, M.A., Iowa State University., Ames-Estados Unidos: Environmental Quality. 1988. pp. 234, 992.

NCRP (Consejo Nacional de Protección y Medición de Radiación). *Measurement of radon and radon daughters in air*. Madrid-España: Bethesda. 1988. pp. 15-17.

OMS. *El radón y sus efectos en la salud* [en línea]. Ginebra-Suiza: OMS, 2016. [Consulta: 11 de junio de 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>

PICHISACA, C. Cuantificar los niveles de radón en ambientes de dormitorios en la Parroquia “Victoria del Portete” (Cuenca - Azuay). En construcciones que contengan diferentes tipos de materiales. (Tesis) (Doctorado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. [Pdf]. Riobamba-Ecuador. 2006. p. 85. [Consulta: 14 de junio de 2018]. Disponible en: http://bibliotecas.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=41702&query_desc=su%3A%22RADON%22

PIEDECAUSA, Beatriz; CHINCÓN-PAYÁ, Servando. *Radiactividad natural de los materiales de construcción. Radiación interna: el gas radón*. N°1 (2011), (España) pp. 3-5

QUINDÓS, Luis. *Radón: un gas radiactivo de origen natural en su casa*. Madrid-España: Consejo de Seguridad Nuclear, 1995. pp. 8-10

QUINDÓS, Luis; et al. *Técnicas de medida del radón y sus descendientes* [en línea]. Santiago de Compostela: Universidad de Cantabria, 2010. [Consulta: 19 de marzo 2018]. Disponible en: <http://www.usc.es/radongal/wp-content/uploads/2017/03/LQuindos2.pdf>

RADIANSA. *El gas radón: medidas de reducción* [en línea]. Girona-España: Radiansa Consulting S.L., 2012. [Consulta: 21 de marzo 2018]. Disponible en: <http://www.radiansa.com/radon/radon-reduccion.htm>

RAMOS, M. Propuesta de Reducción de los Niveles de Radón en Construcciones de Cemento Armado (Tesis) (Doctoral). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. (Riobamba-Ecuador). 2008. p. 102

REY, Francisco; & VELASCO, Eloy. *Calidad de ambientes interiores*. Madrid-España: International Thomson Editores Spain Paraninfo S.A., 2007. pp. 55-56

SCHILLER, G. *A theoretical convective transport model of indoor radon decay products*. Berkeley-Estados Unidos: Universidad de California. 1984. p. 2.

STRANDER, E; & KOLSTD, AK. *Radon exhalation from the ground; method of measurements and preliminary results.* Bethesda MD-Estados Unidos: Sci total Environ, 1985. p. 45

SUOMELA, M. *Studies on the elimination plazos and radiation exposure following ingestin of ²²²Rn rich water.* s.l: Health Phys. 1972. pp. 23, 641, 465.

VENTOSO GARCÍA, Breixo. *El radón un problema de salud pública.* Turín-Italia: Área de innovación y desarrollo S.L. 2017. pp. 7-8

WILKENING, M. *Radon 222 flux measurements in widely regions.* New York: s.l. 1972. pp. 95-99